

# PHYTOPATHOLOGISCHE ZEITSCHRIFT

Begründet von Prof. Dr. E. Schaffnit

*Unter Mitwirkung von*

Prof. Dr. E. Baldacci, Mailand / Prof. Dr. H. Braun, Bonn / Prof. Dr. W. B. Brierley,  
Keswick-Cumberland / Prof. Dr. T. Hemmi, Kyoto / Oberreg.-Rat i. R. Dr. E. Köhler,  
Braunschweig / Prof. Dr. K. O. Müller, Canberra / Prof. Dr. H. M. Quanjér, Wageningen  
Prof. Dr. Tr. Savulescu, Bukarest / Prof. Dr. E. C. Stakman, St. Paul

*herausgegeben von den Professoren*

**E. Gäumann**  
Zürich

**M. Klinkowski**  
Aschersleben

**H. Richter**  
Berlin-Dahlem



Mit 38 Abbildungen

1956

PAUL PAREY IN BERLIN UND HAMBURG

*Phytopath. Z. Bd. 27 Heft 4 S. 353—472 Berlin 1956*



soll die Wirkungsdauer verlängern. Schließlich hat man seit langem versucht, ein pilzwirksames Kupferdepot in der Pflanze anzulegen.

Für eine Kupferanreicherung in der Pflanze bieten sich grundsätzlich zwei Wege an: einmal eine Einschwemmung<sup>1)</sup> löslichen Kupfers durch das Blatt (MÜLLER 1926, DAXER 1939 u. a.), zum anderen eine stärkere Aufnahme des Kupfers durch die Wurzel (HECKEL 1899, MARSTON 1952 u. a. m.). Der erste liegt der BARTHschen „Theorie der aktiven Blattimmunisierung“ zugrunde (BARTH 1896, SEMICHON 1916, RECKENDORFER 1947), während Beobachtungen über eine gesteigerte Kupferaufnahme auf kupferhaltigen Böden Anlaß gegeben haben, sich gedanklich oder experimentell mit der Wirksamkeit aus dem Boden aufgenommenen Kupfers in der Pflanze zu befassen (MARCHAL 1902, BARKER und GIMINGHAM 1914 u. a.).

Gegen beide Theorien sind gewichtige Bedenken geltend gemacht worden: manche glauben, daß der Aufnahmefähigkeit für Kupfer enge Grenzen gesetzt (ERKAMA 1947) und die aufgenommenen Mengen stets gering seien (LINSTOW 1929, ESSWEIN u. M. 1939). Besonders lebhaft ist die Inaktivierung der fungiziden Kupfereigenschaften durch organische Materialien erörtert worden (GOLDSWORTHY u. M. 1938, MARCH P. B. 1945 u. a.). Andere lehnen jede Immunisierungsmöglichkeit pflanzlichen Gewebes durch Kupfer wegen der hohen und generellen Giftigkeit dieses Schwermetalles und der nahen Verwandtschaft von pilzlichem und pflanzlichem Plasma (RUHLAND 1905) ab. Seitdem MILLARDET vor nahezu 70 Jahren den Gedanken einer Kupferwirkung im Innern des Blattes aufgebracht hat, ist es nicht gelungen, Klarheit über diese Frage zu schaffen. Selbst BIEDERMANN und MÜLLER (1952), die sich erstmalig quantitativ mit den Veränderungen der Kupfereigenschaften befassen, kommen zu keinem abschließenden Ergebnis. Sie beweisen nur die Inaktivierung des aus Spritzbelägen gelösten Kupfers auf der Blattoberfläche durch Blattausscheidungen, woraus sie folgern, daß auch im Blattinnern das Kupfer inaktiviert sei, ohne daß hierüber exakte Versuche vorliegen.

Neuerdings angebotene kupferhaltige Düngemittel, denen eine gewisse Wirkung auf die Kraut- und Knollenfäule zugesprochen wird, verlangen eine Wiederaufnahme der Untersuchungen über die therapeutische oder immunisierende Wirkung von Kupferdüngern.

Mir wurde deshalb die Aufgabe gestellt, zu prüfen, inwieweit durch Kupferbehandlung, sei es des Bodens oder der Pflanze selbst, eine Depotbildung in der Pflanze in fungizid wirksamer Form möglich ist.

Zunächst galt es, orientierende Infektionsversuche an kupferbehandelten Kartoffelstecklingen und -sämlingen verschiedener Altersstadien im Gewächshaus und Freilandversuche mit natürlicher Infektion durchzuführen bei gleichzeitigen Beobachtungen über die Wirkung des Kupfers auf Pflanzenwuchs und -ertrag. Sodann mußte die Kupferaufnahme eingehend studiert werden, wobei vor allem Art und Kupferkonzentration des Nährmediums, Alter der Pflanze und Ort des Eindringens zu berücksichtigen

<sup>1)</sup> Zur Kritik des Begriffes „Einschwemmung“ siehe S. 398.



waren. Besonderer Wert war auf die Fixierung der physiologisch maximal aufnehmbaren Kupfermenge zu legen. Weiter galt es, die natürlich aufgenommenen oder künstlich eingeführten oder mit der Pflanzensubstanz in Verbindung gebrachten Kupfermengen in Infektionsversuchen auf ihre Fungizidität qualitativ zu prüfen und in Sporenkeimtesten den Grad der Inaktivierung quantitativ festzustellen. Die Gegenüberstellung der maximal aufnehmbaren Kupfermengen einerseits, ihrer Inaktivierung andererseits, mußte ein Urteil über die Eigenschaften des Kupfers im Innern der Pflanze und über seine innertherapeutische Anwendungsmöglichkeit erlauben.

## B. Besprechung und Auswertung der Literatur

Beobachtungen über gesteigerte Widerstandskraft durch Einführung bestimmter Substanzen in das Pflanzeninnere sind sehr zahlreich. Die Wirkweise solcher Stoffe wird auf verschiedene Weise erklärt. Sie kann von indirekter Art sein,

- a) wenn der (selbst unwirksame) Stoff in der Pflanze verwandelt wird zum Aufbau einer Verbindung hoher Fungizidität (FAWCETT 1951);
- b) wenn die Einführung von Fremdmolekülen zu biochemischen Veränderungen im Sinne höherer Resistenz führt (RECKENDORFER 1947, FAWCETT 1951);
- c) wenn bei Mangel an dem betreffenden Stoff eine Zufuhr das gestörte physiologische Gleichgewicht und damit eine gesunde Disposition wiederherstellt.<sup>1)</sup>

Der Gegenstand meiner Untersuchungen erübrigt ein Eingehen auf die genannten Wirkmöglichkeiten: Soweit sie nicht vorwiegend bei der Entwicklung organischer Systemika in Frage kommen (a und b), haben sie eine Unterbilanz an dem betreffenden Stoff zur Voraussetzung (c). Im Rahmen dieser Arbeit, die den Einfluß gesteigerter Kupferversorgung auf das Krankheitsgeschehen behandelt, kommt daher nur die direkte Wirkweise in Betracht: In welchem Ausmaß kann das Kupfer seine fungiziden Eigenschaften auch im Innern der Pflanze ausüben?

Aus der überaus umfangreichen Kupfer- und *Phytophthora*-Literatur sollen nur die Arbeiten berücksichtigt werden, die geeignet sind, die Wirkung des Kupfers in der Pflanze im Hinblick auf die Krankheitsentwicklung zu beleuchten.

### a) Innere Anwendung des Kupfers

Der erste Versuch, die *Phytophthora*-Krankheit durch Kupferdüngung zu bekämpfen, geht in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. 1845 versuchte der Belgier MORREN<sup>2)</sup>, die seit etwa 1830 in Westeuropa bekannte

<sup>1)</sup> SMITH (1951) führt eine Reihe Beispiele und auch eigene Versuchsergebnisse an, nach denen Pflanzen mit Zinkmangelsymptomen durch Zn-Zufuhr nicht nur von den Mangelschäden geheilt, sondern auch von ihren pilzlichen Parasiten befreit wurden.

<sup>2)</sup> Nach JOHNSON (1935).



„Kartoffelseuche“ mit einer Düngung von Kupfersulfat, Kochsalz und Kalk zu bekämpfen. Erst vier Jahrzehnte später verhalfen MILLARDET (1885) und PRILLIEUX (1888) durch Einführung der Bordeauxbrühe dem Kupfer zu allgemeiner Verwendung im Kartoffel- und Weinbau. Zusammen mit seinem Mitarbeiter GAYON veröffentlichte MILLARDET 1887 eine Schrift, in der er die Wirkung der Bordeauxbrühe auf ein Eindringen des Kupfers in das Blatt und eine Immunisierung des Pflanzeninnern zurückführt. Diese Erklärung mag den historischen Hintergrund für zahlreiche Einzelarbeiten abgegeben haben, in denen in der Folge versucht wurde, durch Einführung von Kupfer und anderen Schwermetallen in das Pflanzeninnere das Gewebe zu immunisieren. So berichten PICHI (1891) und VIALA (1895) von Reversversuchen, in denen die *Peronospora* durch Kupfersulfatdüngung weitgehend eingeschränkt werden konnte. Sehr deutlich formuliert LAURENT bereits 1902 die Fragestellung bei seinen an Umfang allerdings sehr bescheidenen Kartoffelversuchen: Kann die Pflanze selbst durch Absorption der die Krankheit paralysierenden oder die Pilze abtötenden antiseptischen Stoffe sich gegen den Angriff des Pilzes immunisieren? Für den Laubbefall sind die Ergebnisse negativ, während die Knollen in den Kupfertöpfen weniger erkranken und einen höheren Kupfergehalt aufweisen. Im gleichen Jahre führte MARCHAL Infektionsversuche an Salat mit *Bremia lactucae* durch. 0,01 % Cu-Zusatz immunisierte den Salat gänzlich, 0,0025 % hatte keine Wirkung mehr. BARKER und GIMINGHAM befaßten sich 1914 mit der physiologischen Bedeutung desjenigen Kupfers, das bei Kupferspritzung und -düngung in die Kartoffelpflanze einwandert, und wiesen auf die bisher ungeklärte Frage der fungiziden Wirksamkeit solchen Kupfers hin.

In seinem Buch „Die innere Therapie der Pflanze“ hat sich MÜLLER (1926) mit den Grundlagen und Aussichten der innertherapeutischen Krankheitsbekämpfung beschäftigt und schreibt auf Seite 68: „Die Möglichkeit, diese Gedanken zu verwirklichen, ist um so größer, als wir eine ganze Reihe von Stoffen kennen, die, bereits in kleinsten Dosen angewandt, eine bakterizide oder fungizide Wirkung zeigen. Es ist daher anzunehmen, daß dieselben — es handelt sich vornehmlich um die Metalle Cu, Hg und Ag und deren Salze —, in den Saftstrom der Pflanze gebracht, die Pflanzen gegen gewisse Parasiten immun werden lassen bzw. bereits vorhandene Parasiten abtöten.“ Die Möglichkeit, das innere Heilverfahren mittels direkter Einführung nutzbar zu machen — gemeint sind Behandlung der Blätter und Einführung in den Sproß —, hält er jedoch für sehr gering. „Von größter Wichtigkeit wäre es daher, auch Untersuchungen darüber anzustellen, ob nicht, wie gerade in letzter Zeit des öfteren angeregt, durch eine Behandlung des Bodens, also eine indirekte Einführung von Stoffen in die Pflanze, eine Wirkung auf bestimmte Parasiten und Krankheiten erzielt werden kann.“ Unter den Pilzen, gegen die eine Bekämpfung auf solche innere Weise in Betracht käme, sind im besonderen auch die Peronosporaceen genannt.



Auch organische Kupfermittel sind in den Kreis der Betrachtungen einbezogen worden. 1934 empfiehlt DE ONG eine öllösliche Kupferverbindung, das Kupferresinat, zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten. Nach Behandlung der Blätter und Zweige soll das Kupfer in dieser Form, ohne die Pflanze zu schädigen, in das Gewebe eindringen, dort mit dem Pilz in Berührung kommen und ihn auch nach dem Eindringen noch abtöten. Sehr geringe Kupfermengen seien so zur Bekämpfung ausreichend.

Der Diskussion um die Kupferwirkung in der Pflanze verleiht RECKENDORFER neuen Auftrieb mit seiner 1947 erschienenen Schrift unter dem Titel „Immunisierung als Folge von Schädlingsbekämpfung“. Die BARTHschen Gedankengänge wieder aufgreifend, geht er aus von den Beobachtungen RADEMACHERS (1932, 1936) bei der Heilung der Urbarmachungskrankheit durch Kupferspritzung und den experimentellen Untersuchungen DAXERS (1939) über die Kupferaufnahme durch die Blattepidermis und den Transport in das Pflanzeninnere. Den Anteil an Kupfer, der nach seinen eigenen Versuchen aus dem Jahre 1936 im Laufe von 24 Stunden aus einem normalen Spritzbelag und unter Einwirkung der Atmosphärien in Lösung geht ( $1 \gamma$  je  $\text{cm}^2$  Blattfläche), setzt er der in das Blatt eindringenden Menge gleich. Bei der Umrechnung dieser Kupfermenge auf  $\gamma$  Cu je Zellelement des infiltrierten Gewebes ergibt sich eine Zahl, die annähernd der von KOTTE (1924) für die Abtötung einer Konidie als notwendig gefundenen Kupfermenge entspricht ( $10^{-5} \gamma$ ). Die dem Infiltrationsgewebe benachbarten Zellpartien sind zwar Cu-ärmer; aber selbst um eine Zehnerpotenz niedrigere Kupferwerte sieht RECKENDORFER für die Auslösung einer Immunreaktion — etwa auf katalytischem Wege — für ausreichend an. Auf Grund ihrer Versuche über die Inaktivierung des Kupfers auf der Blattoberfläche halten jedoch BIEDERMANN und MÜLLER (1952) die Ansichten RECKENDORFERS für abwegig. Auch im Innern der Pflanze sei das Kupfer durch Komplexbildner und Ionenantagonisten gebunden und in der einzig pilzwirksamen, der ionisierten Form nicht mehr vorhanden. Damit entfällt für sie auch der Gesichtspunkt einer „katalytisch bedingten Immunreaktion“. STRACHOW (1953) knüpft aber gerade hier an, wenn er die durch Spurenelementdüngung bedingte höhere Widerstandskraft der Getreide gegen Branderreger im Zusammenhang mit biochemischen Stoffwechselbeeinflussungen, etwa der Erhöhung der Katalaseaktivität, sehen will. Aus diesen Versuchen wie auch aus allen übrigen Beobachtungen, die den Einfluß von Spurenelementzufuhren auf Pilzkrankheiten betreffen (SMITH 1951, ZITZEWITZ 1951; KLUMPP 1951, 1952, 1954), ist allerdings nicht ohne weiteres ersichtlich, inwieweit es sich dabei nur um die Normalisierung einer Nährstoffunterbilanz handelt, ein Gesichtspunkt, der, wie bereits dargelegt, im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt werden kann. Die immer wieder aufgegriffene und im Letzten völlig offene Frage der innertherapeutischen Anwendbarkeit der Kupfers verlangt jedoch eingehende Beschäftigung mit der Kupferaufnahme und der Wirkung erhöhten Kupfergehaltes in Boden und Pflanze.



## b) Aufnahme des Kupfers

Über die Aufnahme des Kupfers als natürlicher Voraussetzung für eine Wirkung im Innern der Pflanze gehen die Ansichten sehr auseinander. Eine Reihe von Faktoren beeinflussen ihre Größe. Zunächst interessiert, an welcher Stelle Kupfer in die Pflanze eindringen kann.

Die Wurzel kommt auf jeden Fall in Betracht, weil Kupfer als lebenswichtiges Element in jeder Zelle vorhanden ist und dorthin durch die Wurzel seinen Weg gefunden haben muß. Inwieweit allerdings auf diese Weise eine Anreicherung über das normale Maß hinaus in Frage kommt, ist umstritten.

Auf gekupferten Böden finden TSCHIRSCH (1893), BARKER und GIMINGHAM (1914), PIPER (1942) u. a. Mehraufnahmen an Kupfer, COOK (1921) bei Kartoffellaub den dreifachen, STOLZE (1936) bei Weinreben sogar den zehnfachen Kupfergehalt gegenüber normalem Boden. MARSTON (1952) hält allgemein eine „Luxusaufnahme“ an Kupfer für möglich. HASELHOFF (1892) dagegen, ebenso OTTO (1893), FORBES (1917), PACK u. M. (1953) und viele andere bestreiten eine ins Gewicht fallende Mehraufnahme. HOLLRUNG (1923) versucht, den Widerspruch aus der verschiedenen Art der Stofflieferung zu erklären: Die meisten Vertreter der zweiten Gruppe hätten mit Wasserkulturen gearbeitet, wo die Aufnahmeverhältnisse andere seien.

Auch die Konzentration des Kupfers scheint eine Rolle zu spielen: Die Wurzeln vieler Pflanzen sind sehr empfindlich für ionenhaftes Kupfer (SCHARRER 1941). Die pflanzenverträglichen Konzentrationen sind nach Wasserkulturversuchen von SCHARRER und SCHROPP (1933) sehr niedrig und schließen eine hohe Mehraufnahme aus. In Erdversuchen kann die Kupferkonzentration wesentlich höher sein, ohne daß der Gehalt an löslichem Kupfer die Verträglichkeitsgrenze überschreitet. So setzt PIPER (1942) dem Boden ohne Schädigung des Hafers 600 kg Kupfersulfat je ha zu; bei den Versuchen von GIRARD im Jahre 1895 mit Roggen, Hafer, Kartoffeln und Rüben sind es 1500 kg, bei denen von BERGMANN und TRURAN (1932) mit Reben sogar 2500 kg je ha, die ohne Ertragseinbußen vertragen werden.

Schließlich beeinflußt auch die Bindungsform des Kupfers die Aufnahme durch die Wurzel. OTTO (1893) rechnet mit einer nur geringen Durchlässigkeit lebenden Gewebes für Cu-Ionen. Kupfer in organischer Bindung scheint für die Pflanze weniger giftig und besser aufnehmbar zu sein. So ist das wasserlösliche Kupfer-Phtalozyan ungiftig, da es nicht dissoziiert ist (MARCH 1938). Nach MARTIN (1942) können Kupfer-Sebacate und -Phtalate im undissoziierten Zustand eindringen. Zyklische Kupferkomplexverbindungen, die Kupferchelate, werden nach GÄUMANN u. M. (1954) in erhöhtem Maße von der Pflanze aufgenommen und vertragen. Die Möglichkeit, unter Verwendung einer solchen Substanz, des Cu-Komplexons<sup>1)</sup>, größere Kupfermengen in die Pflanze einzuführen, wird auch in meinen Untersuchungen berücksichtigt.

<sup>1)</sup> Na-Salz der Kupfer-Äthylendiamin-tetraessigsäure.



Auf die Menge des aufgenommenen Cu haben außer dem Nährmedium und der Kupferform und -konzentration auch Art und Alter der Pflanze einen Einfluß. So läuft nach RADEMACHER (1940) und PIPER (1942) die Kurve der Kupferaufnahme derjenigen der Stoffbildung voraus.

Einige Pflanzen sollen nach HECKEL (1899) und LINSTOW (1929) ein ausgeprägtes Kupferspeichungsvermögen haben, z. B. *Polycarpha spirostylis* und *Thymus serpyllum* mit Kupfergehalten bis zu 500 bzw. 300  $\gamma$ /g TS. Im allgemeinen dürfte der Kupfergehalt jedoch wesentlich niedriger liegen. ERKAMA (1947) findet in Übereinstimmung mit vielen anderen Autoren bei über 40 untersuchten Pflanzenarten Cu-Gehalte von 5–30  $\gamma$ /g TS. Der höchste Gehalt macht also etwa das Sechsfache vom niedrigsten aus, im Gegensatz zu Eisen und Mangan, wo die Unterschiede das 40- bzw. 440fache betragen. ERKAMA folgert aus diesen Zahlenverhältnissen, daß Kupfer in fester Bindung und Relation zum Eiweiß in der Pflanze vorkommt und die aufgenommenen Mengen bei einer Pflanzenart daher nur geringen Schwankungen unterworfen seien. Es bleibt zu prüfen, inwieweit dieser Schluß im vorliegenden Fall für die Kartoffel zutreffend ist.

Von besonderem Interesse ist die Kupferaufnahme durch das Blatt. Sie quantitativ zu fassen ist schwer, da nach STOLZE (1936) auch nach gutem Abwaschen der behandelten Pflanzenteile immer noch Spuren von Kupfer an der Oberfläche haften. Seit den Versuchen ADERHOLDS (1903) und HILTNERs (1909) weiß man aber, daß eine Kupferaufnahme auf diese Weise stattfinden kann, vielfach freilich begleitet von Blattschäden (SCHANDER 1904, 1913; RUHLAND 1905). Durch die Heilung der Urbarmachungskrankheit mit  $\text{CuSO}_4$ -Spritzungen hat RADEMACHER (1932) eindeutig gezeigt, daß durch das Blatt eine gewisse Aufnahme möglich ist. Auch in Modellversuchen wird die Blattaufnahme erörtert; MÜLLER (1926) tauchte beblätterte Triebspitzen von Fliederzweigen teilweise in 0,25%ige Kupfersulfatlösungen und schloß aus den bald einsetzenden Schädigungen der nicht eingetauchten Pflanzenteile auf Einwanderung und Transport des Kupfers in der Pflanze. DAXER (1939) arbeitete mit Kupferlösungen bis zu 0,35 % und bestimmte im Nachbargewebe qualitativ den Kupfergehalt. Für Dauerbenetzung an Pflaumenblättern fand er eine Schädlichkeitsgrenze von 0,00025 %  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ . RECKENDORFER (1947) schließlich bestimmte das eingedrungene Kupfer quantitativ durch Analyse des Infiltrationsgewebes selber.

Für die eigenen Blattversuche über Aufnahme und Wirkung des Kupfers im gesunden Gewebe ergibt sich besonders im Hinblick auf das leichte Eindringen des Kupfers nach Zellschädigungen (OTTO 1893), daß nur pflanzenverträgliche Konzentrationen heranzuziehen sind. Die Schwierigkeiten der quantitativen Bestimmung werden dadurch umgangen, daß das eingedrungene Kupfer im Infektionsversuch auf biologische Weise unmittelbar geprüft wird (vgl. S. 392).



### c) Der Chemotherapeutische Index des Kupfers

Bisher ist selten nach der maximalen pflanzenverträglichen Kupfermenge gefragt worden. Sie ist für die Problemstellung dieser Arbeit deswegen wichtig, weil sie als *dosis tolerata* den Nenner des Chemotherapeutischen Index, des zahlenmäßigen Ausdrucks für die Anwendbarkeit chemischer Mittel im Pflanzenschutz<sup>1)</sup>, bildet. MÜLLER (1926) bezeichnet für die innere Therapie als *dosis tolerata* diejenige Menge des anzuwendenden Stoffes, „die sich bei völliger Durchtränkung der zu behandelnden Pflanze gerade noch als unschädlich für dieselbe erweist“. Ihre Bestimmung bei Zufuhr durch den Boden bereitet Schwierigkeiten, weil nicht ohne weiteres zu entscheiden ist, ob im Falle eines Kupferschadens das „völlig durchtränkte“ Gewebe selbst vergiftet ist oder nur eine Wurzelschädigung die weitere Aufnahme von Gift und vor allem von Wasser und Nährstoffen verändert und auf diese Weise zu Schaden führt. Für die Bestimmung der pflanzenverträglichen Kupfermengen bei Aufnahme durch das Blatt gelten die gleichen Bedenken, wie sie für die Analyse des Infiltrationsgewebes bereits angeführt wurden. Man hat sich daher meist mit den Analysenwerten derjenigen Pflanzen begnügt, die bei Kupferdüngungsversuchen ungeschädigt blieben. In exakten Versuchen mit Kupfersulfatzufuhr ergaben sich im allgemeinen keine Werte, die das Doppelte des Kontrollwertes überschritten. Im Rahmen dieser Arbeit wird versucht, an Hand der Verteilung des Kupfers in der Pflanze und mit Hilfe von Transpirationsbestimmungen einen Maßstab für die Verträglichkeit des Kupfers innerhalb und außerhalb der Pflanze zu gewinnen.

Die *dosis curativa* ist nach MÜLLER für die innere Therapie „durch diejenige Menge des angewandten Stoffes“ gekennzeichnet, „die bei völliger Durchtränkung der Pflanze gerade noch eine ausreichende Wirkung gegen die zu bekämpfenden parasitären oder nichtparasitären Krankheiten derselben ausübt“.

Da man seit GOLDSWORTHY und GREEN (1938) um die inaktivierende Wirkung organischer Stoffe auf Kupfer weiß, kann zu ihrer Ermittlung nicht die Giftigkeit reiner Cu-Lösungen herangezogen werden. Vielmehr muß geprüft werden, inwieweit die Bindung des Kupfers in der Pflanze an  $\text{NH}_2$ -Gruppen der Aminosäuren und an Eiweiß (nach DAWSON und NAIR 1949) die fungiziden Eigenschaften des Kupferions beeinträchtigt. Hinweise hierfür mögen jene Arbeiten geben, die die Inaktivierung des Kupfers durch anorganische und organische Stoffe außerhalb der Pflanze zum Gegenstand haben (außer GOLDSWORTHY u. M. besonders SKAPTASON und BLODGETT 1941, HEUBERGER und HORSFALL 1942, MARCH 1945, BIEDERMANN und MÜLLER 1952).

Das letzte Kapitel meiner Arbeit wird daher eingehend Fragen der Inaktivierung des Kupfers in der Pflanze erörtern.

<sup>1)</sup> Der chemotherapeutische Index ist der Quotient aus der *dosis curativa* und der *dosis tolerata (toxica)*. Anwendbarkeit eines Mittels nur, wenn der Quotient  $< 1$  (GASSNER 1923).



## C. Experimenteller Teil

### I. Allgemeine Methoden und Materialien

Im Hinblick auf die Einheitlichkeit der Versuchsbedingungen wurde bis auf eine Ausnahme nur Pflanzgut der Sorte *Bona* verwendet. Bei den Sämlingsversuchen gelangte Selbstungssamen der Sorte *Flava* zur Anwendung.

Die Wasserkulturversuche wurden im wesentlichen nach KOPETZ und STEINECK (1949) angelegt. Als Kulturgefäße dienten 1-Liter-Einmachgläser. Für je 100 l Nährlösung wurden zwei Stammlösungen angesetzt.

Stammlösung I enthielt

64,6 g  $\text{KNO}_3$ ,

14,0 g  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,

39,4 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  in 1 l  $\text{H}_2\text{O}$  = 10 ml je 1 Nährlösung;

Stammlösung II enthielt

37,8 g  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ,

40,3 g  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  in 4 l  $\text{H}_2\text{O}$  = 40 ml je 1 Nährlösung.

Die Spurenelemente wurden laut Vorschrift zugesetzt. Eine einmalige Füllung der Gefäße reichte für eine Versuchsdauer (etwa zwei Monate) aus.  $\text{H}_2\text{O}$  wurde nach Bedarf nachgefüllt.

Die Bestimmung des Kupfers erfolgte kolorimetrisch mit dem Photometer „Eppendorf“ nach der Na-diäthylthiocarbamat-Methode, wie sie NYDAHL (1939) beschrieben hat. Bei einer Erfassungsgrenze von 0,2  $\gamma$  ließ sich eine Meßgenauigkeit von  $\pm 0,1 \gamma$  erreichen. Bei der Analyse von Pflanzenmaterial, das bei 70 °C vorgetrocknet, dann vier Stunden bei 105 °C gehalten und nach KAHANE (1938) mit  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und  $\text{HClO}_4$  naßverascht wurde, betrugen die Schwankungen etwa das Fünffache.

Die Sporenkeimteste wurden mit einer *Alternaria tenuis*-Isolierung von *Datura* durchgeführt. Bei einer Keimfähigkeit von  $> 90\%$  und hoher Kupferempfindlichkeit eignete sich dieser Stamm besonders wegen seiner auffallend dunklen Sporenfarbe für Keimteste in trüben Lösungen (gekupferte Preßsäfte). Die Versuche wurden nach dem Tropfentest von McCALLAN u. M. (1941) angelegt [Zugabe von Sporenaufschwemmung zu Cu-Lösung bzw. gekupferten Preßsaft und Aufbringen der Tropfen auf Objektträger, die nach BLUMER und KUNDERT (1951, S. 191) mit je sechs Paraffinringen versehen waren, Aufstellung bei 21 °C, nach 20 Stunden Auszählen von 100 Sporen je Tropfen]. Die Auswertung erfolgte nach der Probit-Analyse von FINNEY (1952) bzw. durch Berechnung der linearen Regression nach SNEDECOR (1946, S. 103 ff.). Die Gradlinigkeit der Kurven wurde im ersten Falle nach dem  $\chi^2$ -Verfahren (FINNEY S. 55), im zweiten Falle nach mehrfacher Streuungszerlegung mit dem F-Test (SNEDECOR S. 382) geprüft.

In der biologisch-statistischen Auswertung der übrigen Versuche wurde nach Prüfung der Homogenität der Streuungen — der Voraussetzung für

die Anwendbarkeit der in Frage kommenden Verfahren — beim Vergleich mehrerer Mittelwerte die kleinste signifikante Differenz (GD) im T-Test (LINDER 1951), beim Vergleich zweier Werte die Größe der Überschreitungswahrscheinlichkeit  $P$  (nach LINDER S. 91) varianzanalytisch ermittelt. Wenn bei Verrechnung von Prozentzahlen Korrelationen zwischen Mittelwert und Streuung auftraten, die eine Varianzanalyse ausschließen, wurden die Einzelwerte in die entsprechenden arcus-sinus- $^{\circ}$ -Werte nach BLISS transformiert (SNEDECOR S. 445). In einem Fall gelangte der Vorzeichentest („signtest“) nach DIXON und MOOD (1946) zur Anwendung.

Es wurden folgende Zeichen verwendet:

- $\bar{X}$  = arithmetisches Mittel
- $\bar{X}_{(\%)}$  = arithmetisches Mittel aus  $^{\circ}$ -Werten
- $\bar{X}_{(tr)}$  = arithmetisches Mittel aus arc-sin- $^{\circ}$ -Werten nach BLISS.
- $s_{\bar{X}}$  = mittlerer Fehler des Mittelwertes
- $N$  = Anzahl der Einzelwerte
- $n$  = Anzahl der Freiheitsgrade
- $P$  = Überschreitungswahrscheinlichkeit
- t.u.F = Faktoren zur Bestimmung der Überschreitungswahrscheinlichkeit ( $P$ )
- GD = kleinste signifikante Differenz für  $P = 5\%$ ;  $1\%$ ;  $0,1\%$  ( $GD_5$ ;  $GD_1$ ;  $GD_{0,1}$ ).

Differenzen mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von

- $P\% > 5$  gelten als nicht gesichert ( $^{\circ}$ )
- $P\% < 5$  gelten als schwach gesichert ( $^x$ )
- $P\% < 1$  gelten als gesichert ( $^{xx}$ )
- $P\% < 0,1$  gelten als gut gesichert ( $^{xxx}$ ).

## II. Der Einfluß der Kupferdüngung auf Pflanzenwuchs und Ertrag

Da bei den bisher in der Literatur beschriebenen Kupferdüngungsversuchen vornehmlich die Beseitigung von Kupfermangelschäden angestrebt wurde, waren über die curative Dosis hinausgehende Aufwandsmengen uninteressant. Das Ziel meiner Untersuchungen machte auch die Einbeziehung höherer Kupfergaben erforderlich. Zur Ermittlung möglicher Aufwandsmengen und fungizider Wirkungen in Gewächshaus und Freiland wurden zunächst Beobachtungen über den Einfluß unterschiedlicher Kupfergaben auf Pflanzenwuchs und Ertrag gesammelt.

### a) Auflauf und Triebhöhe

Die Auswertung der in diesem Abschnitt beschriebenen Versuche erstreckt sich außer auf die hier angeführten Beobachtungen über Auflauf und Triebhöhe auch auf Fragen, die erst in den folgenden Kapiteln behandelt werden.



## 1. Gefäßversuch 1952 mit Frühstorfer Standarderde

Am 29. April 1952 wurden 520 Volkgefäße (Steintöpfe mit 22 cm Durchmesser, 6 l Erdfüllung, beiderseitigen Durchlüftungsschächten, die bis in die 3—4 cm dicke Kiesschicht als Bodenfüllung reichen) mit Frühstorfer Standarderde, einem praktisch nährstofffreien Torf-Ton-Gemisch, gefüllt und je zur Hälfte mit Hochzuchtsaatgut der Sorte Heida und Bona bepflanzt. Als Grunddüngung wurde in flüssiger Form gegeben:

2,8 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	je Topf = 750 kg/ha, auf Fläche bezogen
9,5 g $\text{K}_2\text{SO}_4$	je Topf = 2550 kg/ha, auf Fläche bezogen
1,2 g $\text{MgSO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	je Topf = 320 kg/ha, auf Fläche bezogen
0,2 g $\text{FeCl}_3$	je Topf = 50 kg/ha, auf Fläche bezogen
2,5 g $\text{KH}_2\text{PO}_4$	je Topf = 650 kg/ha, auf Fläche bezogen

Außerdem wurden je Topf 1 g  $\text{CaSO}_4$  in Kristallform = 260 kg/ha in die oberste Erdschicht eingemengt. Kupfer in Form von  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ -Lösung wurde in drei Stufen zugegeben. Die auf die Fläche bezogenen Mengen waren

20 kg/ha  
100 kg/ha<sup>1)</sup>  
500 kg/ha.

Tabelle 1  
Prozentualer Auflauf  
und durchschnittliche Triebhöhe  
im Gefäßversuch 1952  
Boden: Frühstorfer Standarderde  
Pflanzenzahl: 65 je Gruppe

Die vierte Gruppe blieb unbehandelt. Jede Dünungsstufe umfaßte demnach je Sorte 65 Töpfe, die gewöhnlich im Freien standen, bei Regen in eine bedachte Halle gefahren und bei Bedarf mit Regenwasser begossen wurden. Am 26. Mai wurde der Aufgang bonitiert und weiterhin viermal während der Entwicklung die Triebhöhe sämtlicher Stauden gemessen. Am 23. September wurden die Kartoffeln geerntet. Tabelle 1 zeigt den prozentualen Auflauf am 26. Mai sowie die durchschnittliche Triebhöhe am 19. Juni.

Die Pflanzen der Dünungsstufe 20 kg/ha beider Sorten haben sich am besten entwickelt. Sie zeigen die höchsten Auflaufprozente und sind im Wachstum den ungedüngten wie auch besonders den stärker gekupferten Pflanzen in statistisch gesichertem Ausmaß voraus. Das gleiche Ergebnis brachten auch die übrigen Bestimmungen der Triebhöhe, auf deren Wiedergabe deshalb hier verzichtet werden kann.

<sup>1)</sup> Die Dosis 100 kg/ha entspricht der Menge, die normalerweise auf kupfermangelkranken Böden zur Anwendung gelangt.

Behandlung	Auflauf in % nach 4 Wochen		durchschnittl. Triebhöhe in cm nach 7 Wochen			
	HEIDA	BONA	HEIDA		BONA	
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
unbehandelt	77	98,5	36,1 ± 0,67		41,0 ± 0,67	
20 kg/ha Cu-Sulf.	94	100	40,6 ± 0,64		43,1 ± 0,61	
100 " "	78	97	38,2 ± 0,61		40,7 ± 0,85	
500 " "	18	38	27,4 ± 0,59		30,2 ± 0,69	
			GD <sub>5</sub> = 1,7		GD <sub>5</sub> = 1,9	
			GD <sub>1</sub> = 2,3		GD <sub>1</sub> = 2,5	
			GD <sub>0,1</sub> = 2,9		GD <sub>0,1</sub> = 3,2	

## 2. Gefäßversuch 1953 mit Gartenerde-Kompost-Torf-Gemisch

Im zweiten Gefäßversuch wurde eine Erdmischung aus 25 Vol.-% Torf, 37,5 Vol.-% lehmiger Gartenerde und 37,5 Vol.-% Kompost verwendet. Da anzunehmen war, daß das Kupfer bei der besseren Pufferung dieses Erdgemisches weniger schädlich wirke, wurden die Kupfergaben höher bemessen. Es wurden zugesetzt in Form von  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ -Lösung:

in Gruppe I je Topf 0,19 g, entsprechend 50 kg/ha

in Gruppe II je Topf 0,76 g, entsprechend 200 kg/ha

in Gruppe III je Topf 3,04 g, entsprechend 800 kg/ha

Gruppe 0 blieb unbehandelt.

Die Grunddüngung, in derselben Höhe wie im Vorjahre, wurde dem Boden beim Durchmengen in fester Form zugesetzt. Die weitere Pflege wurde wie im ersten Versuch durchgeführt. Drei Wochen nach Versuchsbeginn wurde der prozentuale Auflauf bestimmt, weitere drei Wochen später die Triebhöhe gemessen. Die Werte sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Tabelle 2

Prozentualer Auflauf und durchschnittliche Triebhöhe  
im Gefäßversuch 1953

Sorte: BONA

Boden: Gartenerde-Kompost-Torfgemisch Pflanzenzahl: 40 je Gruppe

Kupferdüngung	Auflauf in % nach 3 Wochen	durchschnittliche Triebhöhe nach 6 Wochen	
		$\bar{x}$	$s\bar{x}$
Kontrolle .....	65,0	38,9 ± 1,25	
50 kg/ha Cu-sulf .....	70,0	39,6 ± 1,31	
200 „ „ .....	62,5	37,6 ± 1,20	
800 „ „ .....	67,5	40,4 ± 1,15	
		GD <sub>5</sub> — 3,43	

Sowohl im Auflauf wie in der Triebhöhe zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle und den drei gekupferten Gruppen. Selbst die Gabe von 800 kg/ha hat nicht schädlich gewirkt.

## 3. Gefäßversuch 1954 mit sandigem und lehmigem Boden

In einem dritten Gefäßversuch sollte daher die Kupferwirkung in Abhängigkeit von der Bodenart geprüft werden. Zwei Böden standen zur Verfügung:

a) sandiger Boden: sandiger Kiesgrubenabraum (Mutterboden) aus dem Norden Bonns mit 11,32 % Abschlämbbarem (Teilchengröße < 0,02 mm)<sup>1)</sup> und 1,68 % Gesamthumus<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Der Feingehalt des Bodens wurde nach der KÜHNschen Schlämmethode bestimmt. Arbeitsgang in ABDERHALDEN, Handb. biolog. Arbeitsmeth., Abt. III, Teil 3, S. 267 f.

<sup>2)</sup> Die Gesamthumusbestimmung wurde nach der Methode von RAUTERBERG und KREMKUS (1951) im Institut für Agrikulturchemie der Universität Bonn durchgeführt.



b) lehmiger Boden: Gemisch aus 1 Teil Kompost und 2 Teilen kompostierten Rasenlehms mit 32,42 % Abschlämbbarem<sup>1)</sup> und 3,85 % Gesamthumus<sup>2)</sup>).

Als Grunddüngung erhielt je m<sup>3</sup>

der sandige Boden: 1,5 kg schwefels. Ammoniak, 1 kg Superphosphat und 1 kg Kalimagnesia,

der lehmige Boden: 1,0 kg schwefels. Ammoniak, 1,3 kg Superphosphat und 1 kg Kalimagnesia.

Diese Düngermengen wurden vor dem Einfüllen der Erde beigemischt.

Von 120 Töpfen jeder Bodenart wurde die Hälfte mit je 3 g CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O entsprechend 800 kg/ha in 500 ml H<sub>2</sub>O versehen. Die Kontrolltöpfe erhielten 500 ccm Wasser. Vor dem Auslegen der Kartoffeln wurde die Erde sämtlicher Töpfe in einer Tiefe von etwa 10 cm gründlich durchmischt. Die übrige Wartung des Versuches vollzog sich wiederum wie oben beschrieben. Tabelle 3 zeigt die durchschnittliche Triebhöhe nach 25 Tagen.

Tabelle 3

Durchschnittliche Triebhöhe im Gefäßversuch 1954  
Pflanzenzahl: 60 je Gruppe

Behandlungsart	Triebhöhe in cm			
	Sandboden		Lehmboden	
	$\bar{x}$	$s\bar{x}$	$\bar{x}$	$s\bar{x}$
Kontrolle .....	27,8 ± 0,547		29,6 ± 0,545	
800 kg ha Cu-sulf .....	25,3 ± 0,441		25,8 ± 0,545	
	$t = 3,934$		$t = 4,93$	
	$P \% = < 0,1$		$P \% = < 0,1$	

Unter Einwirkung der Kupferdüngung haben die Pflanzen beider Böden, wie aus Tabelle 3 ersichtlich, eine geringfügige, aber statistisch gut gesicherte Triebverkürzung erfahren. Näheres über den Wirkungscharakter des Kupfers auf beiden Böden läßt sich erst bei Betrachtung der Ernteverhältnisse sagen.

#### 4. Kupferdüngungsfreilandversuche 1953

Nach den Ergebnissen der Gefäßversuche mußte die Wirkung des Kupfers unter natürlichen Bedingungen im Freiland von besonderem Interesse sein. Zu diesem Zweck wurden 1953 ein Kupferdüngungsfreilandversuch auf dem institutseigenen Versuchsfeld in Bonn und ein Parallelversuch auf dem Versuchsgelände der Landwirtschaftskammer Rheinland in Wahn angelegt. Außer dem Einfluß der Kupferdüngung auf Pflanzenentwicklung und Krautfäuleablauf sollte hierbei geprüft werden, inwieweit der Zusatz anderer Stoffe die Kupferwirkung verändert. Das gilt einmal für Kalzium, das nach COOK (1921) die Aufnahme von Kupfer nicht hemmt und nach Wasserkulturversuchen von SCHARRER und SCHROPP (1933) die Pflanzen-

1) 2) Siehe Fußnoten Seite 364.

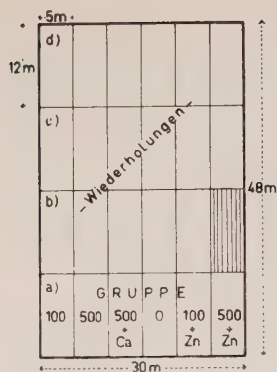


Abb. 1. Lageplan der Freilandversuche \*

schädlichkeit des Kupfers beträchtlich herabgesetzt. Zum anderen hat FATTINGER (1950) in Laborversuchen mit verschiedenen Pilzen gefunden, daß durch nicht pilzschädliche Z i n k - Gaben die fungizide Wirksamkeit des Kupfers erheblich gesteigert wird. Das gleiche ist auch verschiedentlich in der Diskussion über die Wirkung von Spurenelementdüngern zum Ausdruck gekommen. Es ergeben sich im einzelnen folgende Fragestellungen:

1. Wie verhalten sich Kartoffelpflanzen unter Freilandbedingungen bei Zufuhr erheblicher Kupfermengen?
2. Wie gestaltet sich die Kupferaufnahme?
3. Hat die Kupferdüngung unter Freilandbedingungen und bei natürlicher *Phytophthora*-Infektion einen Einfluß auf das Entstehen oder den Ablauf der Krautfäulekrankheit?
4. Wird durch Zusatz von Kalzium die Phytotoxizität des Kupfers ohne Beeinträchtigung seiner Aufnehmbarkeit herabgesetzt?
5. Wird durch Zugabe von Zink die innertherapeutische Wirksamkeit des Kupfers gesteigert?

Dementsprechend wurden sechs Versuchsgruppen aufgestellt und wie folgt behandelt:

1. Gruppe: 100 kg/ha  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
2. Gruppe: 100 kg/ha  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  + 50 kg/ha  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
3. Gruppe: 500 kg/ha  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
4. Gruppe: 500 kg/ha  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  + 200 kg/ha  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
5. Gruppe: 500 kg/ha  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  + 200 kg/ha  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
6. Gruppe: unbehandelt.

Die Versuchsstücke wurden innerhalb größerer, für den Kartoffelanbau bestimmter Flächen ausgesucht. Wegen der notwendigen Hackarbeiten wurde die Langparzellenanordnung mit drei Wiederholungen gewählt. Die Größe der Einzelparzelle betrug  $12 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 60 \text{ m}^2$  mit acht Pflanzreihen zu je 31 Pflanzstellen. Die Lage der Parzellen ist aus Abbildung 1 zu ersehen. Pflanzgut: B o n n a, Hochzucht.

Vorfrucht: im Versuch B o n n : Frühkartoffeln, Zwischenfrucht Gemüse.  
im Versuch W a h n : Gerste, Zwischenfrucht Landsberger Gemenge.

Grunddüngung: 2,5 dz/ha schwefelsaures Ammoniak,  
3 dz/ha Superphosphat,  
4 dz/ha Kalimagnesia.

Die zusätzlichen Kupfer-, Kalzium- und Zinksulfatgaben wurden für jede Parzelle getrennt vor dem Auslegen der Kartoffel auf das mit dem Pflanzloch vorbereitete Stück von Hand ausgestreut. Pflanzung in B o n n am 14. April, in W a h n am 15. April 1953.



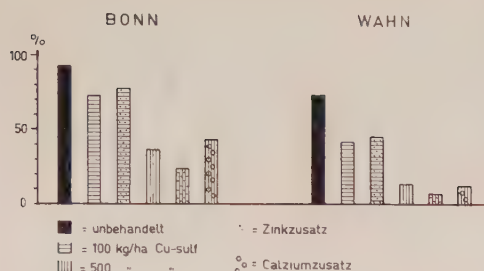


Abb. 2. Prozentualer Auflauf nach 5 Wochen in Kupferdüngungsfreilandversuchen

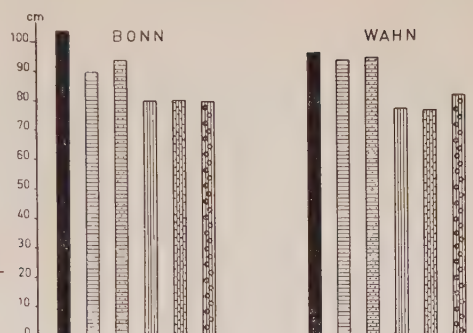


Abb. 3. Durchschnittliche Triebhöhe in Kupferdüngungsfreilandversuchen

Während des Wachstums wurden die Bestände in der üblichen Weise gepflegt. In der zweiten Julihälfte wurde mit Kalkarsen gegen den Kartoffelkäfer gespritzt. Fünf Wochen nach der Pflanzung wurde der Auflauf in *B o n n* durch Auszählen der gekeimten Knollen in jeder der acht Reihen ( $8 \times 124$  Knollen), in *W a h n* durch Auszählen der beiden mittleren Reihen einer jeden Gruppe ( $2 \times 124$  Knollen) ermittelt. In Tabelle 4 sind die Prozentzahlen beider Bonitierungen zusammengestellt, für den *B o n n* er Versuch mit Angabe der Sicherungen für die nach  $\arcsin x$  transformierten  $\%$ -Werte. Im Juli wurde durch Ausmessen von 40 (*B o n n*) bzw. 10 (*W a h n*) Trieben je Gruppe die durchschnittliche Stengellänge ermittelt. Diese Zahlen sind in Tabelle 5 sowie zusammen mit der Aufgangsbonitierung in Abbildung 2 und 3 nochmals aufgeführt.

Tabelle 4

Prozentualer Auflauf nach fünf Wochen in Kupferdüngungsfreilandversuchen

Auszahlungen: Behandlung	BONN 8 x 124		WAHN 1 x 248
	$\bar{x}(\%)$	$\bar{x}(tr)$ $s_{\bar{x}}(tr)$	%
Kontrolle (0)	97,3	80,87 $\pm 0,85$	73,3
100 kg/ha Cu-sulf. (100)	73,0	58,84 $\pm 1,47$	42,6
100 " Cu-sulf. (100+Zn)	78,0	62,08 $\pm 1,17$	46,5
+50 " Zn-sulf			
500 " Cu-sulf. (500)	37,3	37,64 $\pm 1,84$	12,5
500 " Cu-sulf. (500+Zn)	24,2	29,27 $\pm 1,92$	7,3
+200 " Zn-sulf.			
500 " Cu-sulf. (500+Ca)	44,5	41,84 $\pm 0,98$	12,1
+200 " Ca-sulf			
		GD <sub>5</sub> = 4,08	
		GD <sub>1</sub> = 5,46	
		GD <sub>0,1</sub> = 7,20	

Tabelle 5

Durchschnittliche Triebhöhe in Kupferdüngungsfreilandversuchen

Messungen: Behandlung	BONN 40		WAHN 10	
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
0	103,73	$\pm 1,17$	96,2	$\pm 2,12$
100	89,70	$\pm 1,31$	93,6	$\pm 1,53$
100+Zn	93,73	$\pm 1,81$	94,7	$\pm 1,83$
500	80,05	$\pm 0,78$	77,4	$\pm 1,29$
500+Zn	80,20	$\pm 1,21$	77,1	$\pm 1,76$
500+Ca	79,85	$\pm 0,91$	81,8	$\pm 1,26$
	GD <sub>5</sub> = 3,24		GD <sub>5</sub> = 4,70	
	GD <sub>1</sub> = 4,28		GD <sub>1</sub> = 6,27	
	GD <sub>0,1</sub> = 5,50		GD <sub>0,1</sub> = 8,17	

Die Tabellen 4 und 5 bzw. die Abbildungen 2 und 3 zeigen zunächst deutlich, daß Kupferdüngung den Auflauf verzögert und die Triebhöhe

verkürzt. Der Abfall in den 500er Gruppen (500; 500 + Zn; 500 + Ca) ist besonders stark und in allen Fällen gesichert. Innerhalb der 100er (100; 100 + Zn) bzw. 500er Behandlungen sind die Differenzen dagegen gar nicht oder nur gering gesichert. Kalzium scheint die Kupferwirkung in einigen Fällen etwas gemildert zu haben, auch Zink in der niederen Behandlungsstufe, eine Erscheinung, auf die RICHTER (1901) schon hinweist, während Zink in der 500er Gruppe die Kupferwirkung teilweise verstärkt (Auflauf).

Im B o n n e r Versuch wurde auch die K n o t e n z a h l bestimmt. Mit ihrer Hilfe und der aus Triebhöhe und Knotenzahl errechneten mittleren Internodienlänge gewinnt man eine Vorstellung von der A r t der Kupferwirkung.

S p r o ß s t a u c h u n g ohne generelle Beeinträchtigung des Wachstums liegt vor, wenn bei gleichbleibender Knotenzahl die mittlere Internodienlänge parallel zur Triebverkürzung abnimmt; eine a l l g e m e i n e E n t w i c k l u n g s h e m m u n g ist an einer der Triebverkürzung entsprechenden Abnahme der Knotenzahl bei annähernd unveränderter mittlerer Internodienlänge zu erkennen<sup>1)</sup>. Ein Zusammenwirken beider Erscheinungen zeigt sich an einer Verringerung der Knotenzahl wie auch der durchschnittlichen Internodienlänge.

Tabelle 6

Knotenzahlen und mittlere Internodienlängen  
im Kupferdüngungsfreilandversuch BONN

N = 40

Behandlung	KNOTENZAHL		MITTLERE INTERNODIENLÄNGE	
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
0	21,78	$\pm 0,201$	4,82	$\pm 0,067$
100	20,77	$\pm 0,213$	4,32	$\pm 0,061$
100 + Zn	20,63	$\pm 0,281$	4,55	$\pm 0,061$
500	20,28	$\pm 0,289$	3,97	$\pm 0,049$
500 + Zn	20,30	$\pm 0,320$	3,95	$\pm 0,057$
500 + Ca	20,80	$\pm 0,256$	3,86	$\pm 0,054$
	GD <sub>5</sub> = 0,70 <sup>x)</sup>		GD <sub>5</sub> = 0,16	
	GD <sub>1</sub> = 0,92 <sup>x)</sup>		GD <sub>1</sub> = 0,22	
	GD <sub>0,1</sub> = 1,18 <sup>x)</sup>		GD <sub>0,1</sub> = 0,28	

<sup>x)</sup> außer Gruppe 500 + Zn

Sicherungen:

a) TRIEBHÖHE (Werte in Tab. 5)

	100	100 + Zn	500	500 + Zn	500 + Ca
0	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
100		x	xxx	xxx	xxx
100 + Zn			xxx	xxx	xxx
500				o	o
500 + Ca					o

b) KNOTENZAHL

	xx	xx	xxx	xx	xx
0					
100		o	o	o	o
100 + Zn			o	o	o
500				o	o
500 + Ca					o

c) MITTLERE INTERNODIENLÄNGE

	xxx	xx	xxx	xxx	xxx
0					
100		xx	xxx	xxx	xxx
100 + Zn			xxx	xxx	xxx
500				o	o
500 + Ca					o

<sup>1)</sup> Auch die unteren Internodien haben bei der Kartoffel noch ein geringes Längenwachstum, wodurch die durchschnittliche Internodienlänge ständig anwächst. In der Entwicklung zurückgebliebene Pflanzen haben also auch eine etwas geringere mittlere Internodienlänge.



Die Berechnung der mittleren Internodienlänge erfolgte für jeden der 40 gemessenen Einzeltriebe je Gruppe mittels des Quotienten  $\frac{\text{Stengellänge}}{\text{Knotenzahl}}$ . Die obersten, noch nicht entfalteten beiden Blätter wurden dabei als ein Knoten gezählt. In Tabelle 6 sind diese Werte mit ihren Sicherungen zusammengestellt.

Es ergibt sich, daß die Knotenzahl nur wenig verändert wird. Sicherungen — meist nur mit P-Werten zwischen 1 und 0,1 % — treten nur im Vergleich der Kontrolle mit den Behandlungen auf, nicht zwischen den Behandlungen. Die starke Reaktion der Pflanze auf die verschiedenen Behandlungen, wie sie sich in der deutlichen Triebverkürzung ausdrückt, muß sich daher in einer Verringerung der mittleren Internodienlängen etwa gleichen Ausmaßes widerspiegeln, was auch an Hand der Sicherungsdiagramme für Triebhöhe und mittlere Internodienlänge, vor allem aber aus dem Säulendiagramm (Abb. 4), ersichtlich ist.

Hier wurden die gemittelten Werte für Triebhöhe, Knotenzahl und Internodienlänge in % zur Kontrolle ausgedrückt. Im Vergleich der drei Säulen jeder Gruppe ergibt sich aus den großen, der Triebhöhe fast entsprechenden Abnahmen bei der Internodienlänge (punktierte Säulen) deutlich, daß die Veränderungen der Triebhöhe in erster Linie als Triebstauungen anzusprechen sind. Darüber hinaus besagt der kleinere Abfall in den schraffierten Säulen (Knotenzahl), daß unter Kupfereinwirkung auch die allgemeine Entwicklung etwas gehemmt ist. Die geringen Unterschiede zwischen den sich entsprechenden Säulen der 500er Behandlungen zeigen, daß der Zusatz von Kalzium und Zink sich nur wenig auswirkt, wohingegen der geringe Unterschied der schraffierten und punktierten Säule in der Behandlung 100 + Zn wiederum darauf hindeutet, daß Zink in niedriger Aufwandsmenge die Kupferwirkung abschwächt.

Eine weitere Veränderung normalen Pflanzenwachstums unter Kupfereinwirkung ergibt sich schließlich aus der Gegenüberstellung der noch vorhandenen und der insgesamt gebildeten Blätter. Da schon bald nach Bestandesschluß bei der Kartoffelpflanze, auch unabhängig von Krankheitsbefall, die unteren Blätter vergilben und wenig später abfallen, kann die Anzahl der von der Pflanze insgesamt gebildeten Blätter dann nur noch an der Knotenzahl festgestellt werden. Im Bonner Versuch wurden bei 40 Pflanzen je Gruppe die Ende Juli noch vorhandenen Blätter in % zur

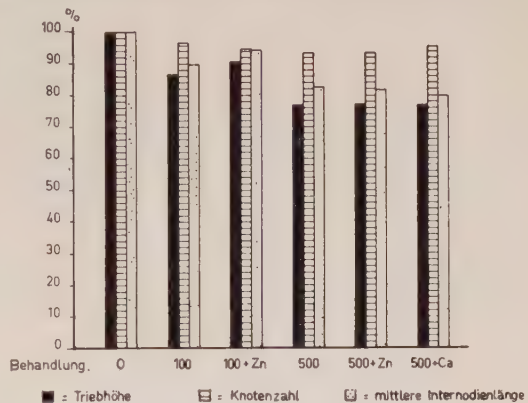


Abb. 4. Triebhöhe, Knotenzahl und mittlere Internodienlänge in Prozent zur Kontrolle im Kupferdüngungsfreilandversuch BONN

Knotenzahl ausgedrückt und die nach  $\arcsin x$  transformierten Werte in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7

Blattzahl in Prozent zur Knotenzahl im Kupferdüngungs-  
Freilandversuch BONN

N = 40

	$\bar{x}(\%)$	$\bar{x}_{(tr)}$	$s\bar{x}_{(tr)}$
Kontrolle .....	25,95	30,34	$\pm 0,64$
100 .....	33,35	35,27	$\pm 0,87$
100 + Zn .....	31,90	34,41	$\pm 0,83$
500 .....	47,90	43,88	$\pm 0,81$
500 + Zn .....	45,00	42,13	$\pm 0,75$
500 + Ca .....	45,00	42,13	$\pm 0,69$
			GD <sub>5</sub> = 2,15
			GD <sub>1</sub> = 2,83
			GD <sub>0,1</sub> = 3,63

Die Zahlen ergeben, daß der Anteil der an der Pflanze verbliebenen Blätter in den gekupferten Gruppen wesentlich höher liegt und bei der 500er Kupfergabe mit 48 % nahezu das Doppelte des Kontrollwertes (26 %) beträgt. Innerhalb der 100er bzw. 500er Behandlungen zeigen sich keine Unterschiede, Zink und Kalzium haben diese Verhältnisse also nicht verändert.

Da im W a h n e r Versuch die Knotenzahl nicht ermittelt wurde, stehen Vergleichszahlen nicht zur Verfügung. Die statistische Auswertung der Ende Juli absolut noch vorhandenen Blätter brachte dieselbe gesicherte Tendenz. Auf die Wiedergabe der Zahlen wird deshalb hier verzichtet.

#### b) Bestandesentwicklung und Blühtermin

In den Freilandversuchen wurde während des Wachstums laufend die Bestandesentwicklung bonitiert. Besonderer Wert wurde dabei auf Bestandes-schluß, Sproßfarbe und Blütezeit gelegt. Die beiden Versuche in B o n n und W a h n zeigten hierbei weitgehende Übereinstimmung. Die Ergebnisse sind deshalb in Tabelle 8 zusammengefaßt.

Aus der Aufstellung (Tab. 8) geht folgendes hervor:

- Der Bestandesschluß wird in den gekupferten Parzellen etwa 14 Tage (100er Behandlung) bzw. drei Wochen (500er Behandlungen) später erreicht. Die Stengel beginnen entsprechend später niederzusinken.
- Die Sproßfarbe ist in den gekupferten Parzellen deutlich dunkler. Sie beginnt auch wesentlich später aufzuhellen und erreicht besonders in den 500er Behandlungen erst kurz vor dem Absterben der Blätter den hellgrünen Farbton, der sich in der Kontrolle schon bald nach der Blütezeit einstellt.
- In der Triebhöhe bleiben die gekupferten Parzellen zurück (s. Abb. 3).



- d) Die Blüte setzt in den gekupferten Parzellen später ein und ist vor allem in der 500er Behandlung in die Länge gezogen. Der Hauptblühtermin liegt hier etwa zehn Tage später.

Tabelle 8

Bestandesentwicklung und Blühtermin in Kupferdüngungs-  
freilandversuchen

		22. VI.	5. VII.	15. VII.	21. VII.	28. VII.	5. VIII.
0	a) Bestandesentwicklung	geschlossen	10% liegend	50% liegend	100% liegend	100% liegend	100% liegend
	b) Sproßfarbe	hellgrün	hellgrün	hellgrün	vergilbend	vergilbend	vergilbt
	c) Triebhöhe in cm	40	60	80	90	100	—
	d) Blüte	++	+++	—	—	—	—
100	a)	teilw. geschl.	geschlossen	33% liegend	50% liegend	66% liegend	100% liegend
	b)	mitte grün	mittelgrün	hellgrün	gelbl.-grün	gelblich	fast vergilbt
	c)	35	55	70	80	90	—
	d)	+	+++	—	—	—	—
100 + Zn	a)	teilw. geschl.	geschlossen	33% liegend	50% liegend	75% liegend	100% liegend
	b)	mittelgrün	mittelgrün	hellgrün	gelbl.-grün	gelblich	fast vergilbt
	c)	35	55	75	85	95	—
	d)	+	+++	—	—	—	—
500	a)	nicht geschl.	teilw. geschl.	geschlossen	geschlossen	20% liegend	50% liegend
	b)	dunkelgrün	dunkelgrün	dunkelgrün	dunkelgrün	liegend	liegend
	c)	30	50	60	70	80	grünl.-gelb
	d)	(+)	++	+	(+)	—	—
500 + Zn	a)	nicht geschl.	teilw. geschl.	geschlossen	geschlossen	10% liegend	50% liegend
	b)	dunkelgrün	dunkelgrün	dunkelgrün	dunkelgrün	dunkelgrün	gelbl.-grün
	c)	25	40	55	65	75	—
	d)	(+)	+	+++	+	—	—
500 + Ca	a)	teilw. geschl.	geschlossen	10% liegend	20% liegend	50% liegend	75% liegend
	b)	dunkelgrün	dunkelgrün	mittelgrün	gelbl.-grün	gelbl.-grün	grünl.-gelb
	c)	30	50	65	75	80	—
	d)	(+)	++	+	(+)	—	—

Der Zink-Zusatz hat sich bei den 100-kg-Kupfergaben nicht nennenswert ausgewirkt, während er in der 500er Behandlung die Kupferwirkung verstärkt hat (geringere Triebhöhe, späteres und längeres Blühen).

Der Kalzium-Zusatz hat die Kupferwirkung abgeschwächt (gegenüber 500-kg-Kupfergabe früherer Bestandesschluß, hellere Farbe, längere Triebe, frühzeitigeres Absterben).

Diese Beobachtungen wurden ohne Rücksicht auf die Auswirkungen der *Phytophthora infestans* zusammengestellt, die sich seit ihrem ersten Auftreten in den Versuchen am 20. Juni in zunehmendem Maße bemerkbar machte. In der Diskussion der Befallsergebnisse spielen sie, wie wir noch sehen werden, eine wichtige Rolle.

### c) Ertragsbeeinflussung

Die Erträge des Gefäßversuches 1952 sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Gut gesicherter Ertragsanstieg von der Kontrolle zur kleinsten Düngungsstufe, keine Veränderung oder nur schwach gesicherter Ertragsrückgang zwischen der 20-kg/ha- und der 100-kg/ha-Behandlung und starker Abfall

Tabelle 9

Ertragszahlen  
aus dem Gefäßversuch 1952  
Boden: Fruhstorfer Standarderde  
Pflanzenzahl: 65 je Düngungsstufe und Sorte  
Erntemengen in g

Behandlung	HEIDA		BONA	
	$\bar{x}$	$s\bar{x}$	$\bar{x}$	$s\bar{x}$
Kontrolle	104,5	± 3,41	95,7	± 3,27
20 kg/ha Cu-sulf.	131,0	± 4,14	142,0	± 4,33
100 " "	132,1	± 3,59	128,7	± 3,69
500 " "	77,7	± 2,65	79,2	± 3,89
	GD <sub>5</sub> = 9,33		GD <sub>5</sub> = 10,61	
	GD <sub>1</sub> = 12,30		GD <sub>1</sub> = 13,99	
	GD <sub>0,1</sub> = 15,78		GD <sub>0,1</sub> = 17,95	

bei der hohen Aufwandsmenge entsprechen im Ausmaß ihrer Veränderung durchaus den für die Triebhöhenentwicklung unter Kupferereinfluß gemachten Feststellungen (Tab. 1), mit der einzigen Abweichung, daß der hier gut gesicherte Anstieg zwischen Kontrolle und 100-kg-Gabe dort nicht (Bona) oder nur schwach gesichert ist (Heida). Eine geringe Kupferdüngung hat also den Ertrag günstig beeinflußt.

Tabelle 10 gibt die Ertragszahlen aus dem Gefäßversuch 1954 wieder.

Tabelle 10

Erntezahlen aus dem Gefäßversuch 1954  
2 Böden: a) sandiger Boden; b) lehmiger Boden  
Pflanzenzahl: 40 je Behandlung und Boden  
Erntemengen in g

Behandlung	Sandboden		Lehmboden	
	$\bar{x}$	$s\bar{x}$	$\bar{x}$	$s\bar{x}$
Kontrolle .....	432,6	± 7,81	398,6	± 10,25
800 kg/ha Cu-sulf .....	435,5	± 11,45	447,4	± 4,48
	t = 0,209		t = 4,35	
	P = 84%		P = < 0,1%	

Hier hat sich die Kupferung des sandigen Bodens ertragsmäßig nicht ausgewirkt; im Lehmboden dagegen bedingte sie einen gut gesicherten Mehrertrag von etwa 12 %, während die Triebe, wie wir sahen, auf beiden Böden eine gut gesicherte Verkürzung erfuhren (s. Tab. 3). Die Erntezahlen der beiden Feldversuche sind in Tabelle 11 und Abbildung 5 zusammengestellt.

Behandlung	BONN		WAHN	
	$\bar{x}$	$s\bar{x}$	$\bar{x}$	$s\bar{x}$
0	20,00	± 0,38	15,15	± 0,37
100	17,28	± 0,48	14,40	± 0,35
100 + Zn	19,18	± 0,32	14,45	± 0,32
500	15,93	± 0,56	11,89	± 0,33
500 + Zn	15,86	± 0,43	11,71	± 0,26
500 + Ca	15,69	± 0,39	11,41	± 0,36
	GD <sub>5</sub> = 1,01		GD <sub>5</sub> = 0,92	
	GD <sub>1</sub> = 1,33		GD <sub>1</sub> = 1,22	
	GD <sub>0,1</sub> = 1,71		GD <sub>0,1</sub> = 1,56	

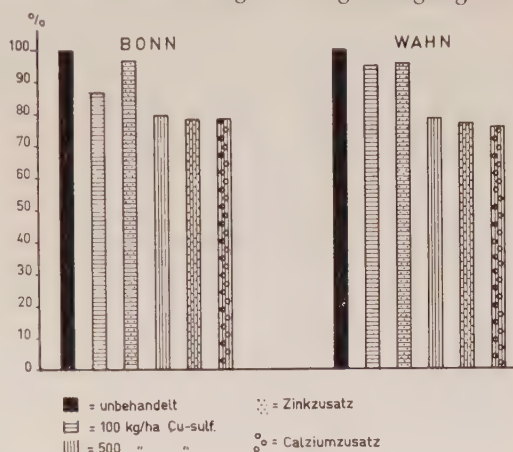
Tabelle 11

Erntezahlen  
aus den Kupferdüngungs-  
freilandversuchen  
Erntebestimmungen: 8 (Reihen)  
× 4 (Querparzellen) = 32 je Behandlung  
Erntemengen in kg



Die gekupferten Parzellen blieben überwiegend im Ertrag zurück. Der 20–25%ige Minderertrag bei den 500er Behandlungen in Bonn und Wahn ist mit  $P < 0,1\%$  gesichert. Nur der 5%ige Ertragsrückgang der 100er Behandlung in Wahn ist gegenüber der Kontrolle nicht mehr gesichert. In Bonn ist die gesicherte 13%ige Ertragsminderung in der 100er Behandlung durch den Zinkzusatz nahezu ausgeglichen worden. Innerhalb der 500er Behandlungen haben sich die Zusätze nicht ausgewirkt.

Abb. 5. Erntewerte der Kupferdüngungsfreilandversuche in Prozent zur Kontrolle



#### d) Nachwirkungen der Kupferdüngung

Bei Kupferbehandlung des Bodens zur Bekämpfung von Cu-Mangelerscheinungen wird allgemein mit mehrjähriger Nachwirkung gerechnet (BRAUN-RIEHM, 1950). Untersuchungen von SKAPTASON u. M. (1940), REUTHER u. M. (1952) und BUCHNER (1952) zufolge wird auch in nicht „festlegungsaktiven“ Böden ein Großteil des dem Boden zugeführten Kupfers in nicht auswaschbarer Form gespeichert. Es interessierte daher, wie sich in den Freilandversuchen die im ersten Jahre deutlich schädliche Kupferbehandlung im zweiten Jahre auswirkt. Deshalb wurde in Bonn 1954 die Fläche des Kupferfreilandversuchs in derselben Weise wie im Vorjahr abermals mit Kartoffeln bestellt. Das Feld wurde zwar nur in der Längsrichtung bearbeitet; dennoch war beim Pflügen und Eggen eine gewisse Quervermischung des Bodens unvermeidlich. Zur Auswertung gelangten daher nur die vier mittleren Reihen einer jeden Gruppe.

Der Versuch wurde am 8. April gepflanzt; am 22. Mai waren von  $4 \times 124 = 496$  Knollen je Gruppe aufgelaufen:

in Gruppe 0	454 Knollen = 91,5 %
in Gruppe 100	458 Knollen = 92,4 %
in Gruppe 100 + Zn	444 Knollen = 89,5 %
in Gruppe 500	460 Knollen = 92,8 %
in Gruppe 500 + Zn	452 Knollen = 91,1 %
in Gruppe 500 + Ca	449 Knollen = 90,5 %

Das Auflaufen ließ also keinen Unterschied erkennen. Da auch weiterhin die Staudenentwicklung bei allen Versuchsgruppen die gleiche war, ferner der Gesamtbestand gleichmäßig in Bestandesschluß und zur Blüte

Tabelle 12

Erntezahlen aus dem  
Kupferdüngungsfreilandversuch BONN  
ein Jahr nach Behandlung

Erntebestimmungen:

4 (Reihen)  $\times$  4 (Querparzellen) = 16 je Behandlung

Erntemengen in kg

Behandlung	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
0	24,13 $\pm$ 0,752	$GD_5 = 1,70$
100	24,94 $\pm$ 0,708	$GD_1 = 2,25$
100 + Zn	23,35 $\pm$ 0,521	$GD_{0.1} = 2,91$
500	24,45 $\pm$ 0,659	
500 + Zn	23,38 $\pm$ 0,481	
500 + Ca	23,90 $\pm$ 0,476	

kam, wurde von einer zahlenmäßigen Bonitierung des Wachstums abgesehen. Auch die Auswertung der Ernteergebnisse in Tabelle 12 läßt keinen Unterschied mehr zwischen Kontrolle und behandelten Parzellen erkennen.

Das gleiche gilt für den Kupferdüngungsversuch in Wahn, der 1954 mit Zuckerrüben bestellt war. Auch hier entwickel-

ten sich die Pflanzen völlig gleichmäßig. Eine Nachwirkung des Kupfers bei den Freilandversuchen war daher nicht festzustellen.

Auf Grund dieser Ergebnisse kann zusammenfassend gesagt werden, daß Kupfer in den geprüften Konzentrationen die Staudenentwicklung vorwiegend hemmte. Das Ausmaß dieser Hemmung scheint aber in starkem Maße von der Bodenart abhängig zu sein, so daß bei sonst schädlichen Kupfergaben auch Ertragserhöhungen möglich sind. Zu letalen Schädigungen ist es in keinem Falle gekommen. In den nun zu beschreibenden Infektionsversuchen gelangten daher im wesentlichen Kupfergaben in den bereits geschilderten Konzentrationen zur Anwendung.

### III. Infektionsversuche mit kupfergedüngten Pflanzen

#### a) Gewächshausversuche mit Kartoffelsämlingen und -stecklingen

Im ersten Versuch wurde die Anfälligkeit unterschiedlich mit Kupfer gedüngter Sämlinge in verschiedenen Altersstadien geprüft.

Boden: Torf-Ton-Sand-Kompost-Gemisch; spez. Gewicht 0,50.

Gefäße: Tonschalen, 12 cm Durchmesser, 500 ccm Füllvolumen.

Versuchsgruppen und Art der Behandlung:

Die Kupferdüngung wurde in flüssiger Form verabreicht. Von einer Stammlösung, enthaltend 24 g  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  in 1000 ml, wurden jeweils 50, 150, 250 und 350 ml mit aqua dest. auf 600 ml aufgefüllt und in 6 l Erde (= 3 kg im lufttrockenen Zustand) gut eingearbeitet. Die Versuchsböden wurden somit auf einen Kupfersulfatgehalt von 0,04, 0,12, 0,20 und 0,28 % gebracht. Die Kontrolle wurde mit 600 ml aqua dest. durchmengt.

Je Düngungsstufe standen zehn Töpfe zur Verfügung, die mit je 50 Samen belegt und im feuchtwarmen Gewächshaus aufgestellt wurden.



14 Tage nach Aussaat und dann in Abständen von 8—18 Tagen an vier weiteren Terminen wurden zwei Töpfe je Stufe entnommen, von denen einer mit einer gut schwärmenden *Phytophthora*-Zoosporensuspension (etwa 30 000 Zoosp. je ml) mittels Verstäuberspritze infiziert und zur Inkubation vier Tage im gläsernen Schwitzkasten bei 21 °C und 100 % rel. Feuchte gehalten wurde; das Pflanzenmaterial des anderen wurde getrocknet und auf Kupfer analysiert. Im Durchschnitt aller Töpfe ergab sich eine prozentuale Keimfähigkeit von  $79,0 \pm 6,0$  entsprechend einem Pflanzenbestand von etwa 40 je Topf. Bei der Befallsauswertung wurden daraufhin die befallenen Pflanzen auf 40 Pflanzen je Topf umgerechnet und in den Spalten a der Tabelle 13 aufgeführt. Als befallen galten Pflanzen, die vier Tage nach der Infektion eingesunkene und zusammengeschrumpfte Blattpartien erkennen ließen, aus denen ein bis zwei Tage später blattober- und -unterseits Sporangienträger austraten. In den Spalten b ist der Kupfergehalt in  $\gamma$  Cu/g TS angeführt. Infolge Ausfalls einiger Töpfe standen zum letzten Termin keine Pflanzen für die Analyse zur Verfügung.

Tabelle 13

Befall und Kupfergehalt in einem Infektionsversuch  
mit Kartoffelsämlingen

Spalte a: befallene Pflanzen von insgesamt 40

Spalte b:  $\gamma$  Cu/g TS

Alter der Sämlinge:	14 Tage		25 Tage		34 Tage		42 Tage		60 Tage	
% Cu-sulf. im Boden	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Kontrolle	39	17,1	40	11,5	39	10,0	31	10,0	40	—
0,04	40	39,0	40	29,6	39	28,3	26	20,1	40	—
0,12	40	47,4	40	40,7	36	33,7	19	27,8	40	—
0,20	36	51,3	40	42,0	38	39,9	36	35,1	40	—
0,28	38	57,2	40	44,6	40	41,2	34	37,8	40	—

Die Zahlen sämtlicher Termine in Tabelle 13 zeigen, daß der Kupfergehalt entsprechend der Cu-Düngung angestiegen ist, der Befall jedoch keine Unterschiede erkennen läßt. (Die Schwankungen des vorletzten Termines scheinen methodisch bedingt zu sein.)

In Tabelle 14 sind die Zahlen eines ähnlich gehaltenen Infektionsversuches mit noch höheren Kupfergaben zusammengestellt. Bei Kupfersulfatkonzentrationen von 0,0; 0,2; 0,6 und 1 % standen in Schalen von 20 cm Durchmesser je 200 bis 250 Sämlinge, die im Alter von 32 Tagen in der beschriebenen Weise infiziert und eine Woche später einzeln herausgenommen und bonitiert wurden.

Die Prozentzahlen der gänzlich zerstörten Pflänzchen in Spalte 2 der Tabelle 14 — bei allen Versuchsgruppen nahezu 55 % — lassen besonders deutlich erkennen, daß auch hohe Kupfergaben bei den Sämlingsversuchen keine erhöhte Resistenz bedingen.

Tabelle 14

Befall und Kupfergehalt in einem Infektionsversuch  
mit Kartoffelsämlingen

% Cu-sulf. im Boden	Pfl zahl	g Cu/gTS	Anzahl und Prozent der Pflanzen mit den Bonitierungszahlen: w					
			0		1		2	
			Zahl	%	Zahl	%	Zahl	%
Kontrolle	212	44,5	67	31,6	29	17,3	116	54,8
0,2	225	71,0	70	31,1	30	13,4	125	55,5
0,6	233	75,8	59	25,3	47	20,2	127	54,6
1,0	242	83,5	72	29,8	37	15,3	133	55,0

Bonitierungsschema: 0 = kein Befall  
1 = einzelne Blättchen zusammengefallen  
2 = ganzes Pflänzchen zerstört

### Infektionsversuche mit kupfergedüngten Kartoffelstecklingen

Zwei Gruppen von je 40 Stecklingen der Sorte B o n a wurden in einem Gartenerde-Torf-Kompost-Gemisch eingetopft. Dem Boden der einen Gruppe war vorher 0,25 % Kupfersulfat in flüssiger Form beigelegt worden. Viermal im Abstand von 10—15 Tagen wurden zehn Pflanzen jeder Gruppe in der beschriebenen Weise infiziert und vier Tage später bonitiert. Die Befallszahlen der einzelnen Blätter (Bonitierungsschema siehe unten) wurden für jede Pflanze zu einem gemeinsamen Mittelwert zusammengefaßt. Die Befallsindizes der einzelnen Pflanzen wurden statistisch weiter verrechnet und die Ergebnisse in Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 15

Infektionsergebnisse  
bei kupfergedüngten Kartoffelstecklingen  
Vier Infektionstermine, mittlere Befallsindizes von zehn Pflanzen

Alter der Stecklinge % Cu-sulf. im Boden	20 Tage		30 Tage		40 Tage		55 Tage		Cu-Gehalt in g Cu/g TS n. 40 Tagen
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	
Kontrolle	1,73	± 0,082	2,00	± 0,145	1,71	± 0,176	1,54	± 0,243	23,5
0,25	1,64	± 0,149	2,05	± 0,158	1,78	± 0,252	1,79	± 0,107	41,7
	$t = 0,529$		$t = 0,230$		$t = 0,227$		$t = 0,941$		
	$p = 60 \%$		$p = 80 \%$		$p = 80 \%$		$p = 35 \%$		

Bonitierungsschema zu Tabelle 15

(Bewertung des ganzen Blatts)

- 0 = kein Befall,
- 1 = einzelne Punkte,
- 2 = Ausdehnung einzelner Flecke nur wenige mm,
- 3 = einzelne etwa erbsengroße Flecke,
- 4 = bis zu 25 % der Blattfläche befallen,
- 5 = bis zu 50 % der Blattfläche befallen,
- 6 = bis zu 100 % der Blattfläche befallen.



Wie aus Tabelle 15 ersichtlich, zeigen sich auch bei den Stecklingsversuchen keine Befallsunterschiede. Weitere Infektionsversuche, auch mit Gefäßpflanzen und unter veränderten Infektionsbedingungen, brachten das gleiche Resultat.

### b) Freilandversuche

Bei den auf Seite 366 beschriebenen Freilandversuchen hätte sich die Kupferdüngung auf den natürlichen Befall mit *Phytophthora infestans* in verschiedener Weise auswirken können. Durch eine Verringerung der Befallsstellen hätte sich ein „Infektionsschutz“, durch eine Einschränkung der Fleckengröße eine (teilweise) „Immunisierung des Gewebes“ anzeigen können. Änderungen in Pflanzenwuchs und Mikroklima konnten ebenfalls den Befall beeinflussen. Es mußte deshalb ein Bonitierungsschema entwickelt werden, das sowohl quantitativ den flächenmäßigen Befall wie auch qualitativ Veränderungen im Befallsbild (z. B. Befall nur in der unteren Staudenpartie) möglichst genau erfaßte. Diesen Anforderungen glaube ich mit einem dreifach gestaffelten Schema entsprochen zu haben. Zuerst, bei der *Staudenbonitur*, werden die Stauden als Ganzes betrachtet; dabei wird in einer siebengliedrigen Skala festgehalten, wieweit sich der Befall von den zuerst erkrankten unteren Blättern auf die oberen Staudenpartien ausgedehnt hat. Dann wird bei der *Blattbonitur* festgestellt, wieviel Fiederblättchen im Durchschnitt an den als erkrankt gefundenen Blättern einer Staude befallen sind. Die *Fleckenbonitur* schließlich bewertet die durchschnittliche Fleckengröße nach dem befallenen Flächenanteil eines Fiederblättchens. Die Multiplikation der drei für eine Pflanze ermittelten Bonitierungszahlen ergibt dann in der „Gesamtbefallszahl“ einen quantitativen Ausdruck für den Befall einer Pflanze.

#### Bonitierungsschema für den Freilandbefall

##### 1. Staudenbonitur

- 0 = kein Befall,
- 1 = vereinzelte Flecke an unteren Blättern,
- 2 = mehrere untere Blätter befallen,
- 3 = auch mittlere Blätter befallen,
- 4 = alle unteren und viele mittlere Blätter befallen,
- 5 = auch obere Blätter befallen,
- 6 = alle Blätter befallen.

##### 2. Blattbonitur

- 1 = bis  $\frac{1}{3}$  der Fiederblätter eines Blattes befallen,
- 2 = bis  $\frac{2}{3}$  der Fiederblätter eines Blattes befallen,
- 3 = bis  $\frac{3}{3}$  der Fiederblätter eines Blattes befallen.

##### 3. Fleckenbonitur

- 1 = punkt- und strichförmige Flecken am Fiederblatt,
- 2 = bis 50 % des Fiederblattes befallen,
- 3 = mehr als 50 % des Fiederblattes befallen.

In beiden Freilandversuchen trat erstmals am 20. Juni vereinzelt *Phytophthora* auf. Das Wetter der folgenden zehn Tage war für die Ent-

Tabelle 16

Befall und Kupfergehalt in den Freilandversuchen

Mittelwerte aus je 12 × 20 (BONN) bzw. 6 × 20 (WAHN) Einzelstaudenbonitierungen

Analysenwerte von Durchschnittsproben

Behandlung	B O N N			W A H N		
	Befallszahl $\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	gCu/gTS	Befallszahl $\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	gCu/gTS
0	25,85 ± 0,682		17,8	42,21 ± 1,370		17,6
100	20,13 ± 1,329		17,0	38,99 ± 1,075		18,5
100 + Zn	22,52 ± 0,968		16,4	37,96 ± 1,541		16,9
500	15,41 ± 1,074		16,5	35,22 ± 0,607		18,3
500 + Zn	14,37 ± 0,803		17,6	26,00 ± 1,200		18,1
500 + Ca	12,83 ± 0,956		17,3	34,11 ± 1,077		18,4
	GD <sub>5</sub> = 2,79			GD <sub>5</sub> = 3,41		
	GD <sub>1</sub> = 3,71			GD <sub>1</sub> = 4,60		
	GD <sub>0,1</sub> = 4,82			GD <sub>0,1</sub> = 6,09		

Reihe gemittelt. Die so erhaltenen zwölf Mittelwerte einer jeden Gruppe wurden statistisch weiter verrechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 wiedergegeben zusammen mit den entsprechenden Zahlen des W a h n e r Versuches, bei dem jedoch nur aus zwei Parzellen je Gruppe Bonitierungszahlen vorliegen.

Überraschenderweise zeigen bei unveränderten Kupfergehalten die 500er Gruppen einen erheblichen und selbst die 100er Behandlungen einen zum Teil noch gut gesicherten Befallsrückgang. Beide Versuche verhalten sich gleichsinnig, wenn auch in W a h n die Befallsunterschiede geringer sind und der besonders niedrige Befall der Gruppe 500 + Zn aus dem Rahmen fällt.

Das verwendete Bonitierungsschema gibt durch getrennte Verrechnung der Werte aus den einzelnen Bonitierungsstadien die Möglichkeit, Unterschiede in der „Gesamtbefallszahl“ zurückzuführen auf Änderungen der Flecken z a h l (wenn die Werte der Staudenbonitur oder Blattbonitur die Änderung bedingen) und der Flecken g r ö ß e (wenn die Werte der Fleckenbonitur die Änderung bedingen).

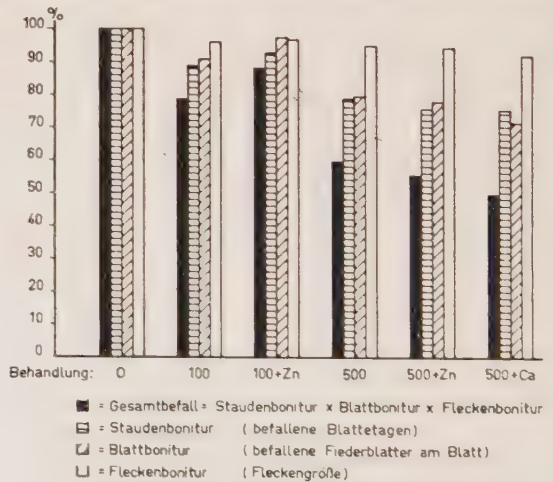


Abb. 6. *Phytophthora*-Befall im Kupferdüngungs-freilandversuch BONN. Gesamtbefallszahl und Werte aus den drei Bonitierungstafeln in Prozent zur Kontrolle

wicklung der Krautfäule ungünstig. Eine Stichbonitur am 3. Juli ergab nur geringen, aber in der Kontrolle deutlich höheren Befall. Die erste exakte Bonitierung erfolgte in Bonn am 9. Juli, in W a h n am 10. Juli. In Bonn wurden je Versuchsgruppe und Wiederholung in den drei mittleren Reihen jeweils 20 Pflanzen bonitiert und die Befallszahlen einer jeden



Im Säulendiagramm (Abb. 6) wurden für den Bonner Versuch die mittlere Gesamtbefallszahl und die für die drei Bonitierungsstaffeln getrennt berechneten Mittelwerte der Kontrolle = 100 gesetzt und die entsprechenden Zahlen der übrigen Gruppen darauf bezogen. Besonders aus den Säulengruppen für die 500er Behandlungen geht hervor, daß der bei diesen etwa 50% ige Rückgang im Gesamtbefall (schwarze Säulen) zu etwa gleichen Teilen bedingt ist durch einen um 25 % niedrigeren Wert bei der Staudenbonitur (gerade schraffierte Säulen) und der Blattbonitur (schräg schraffierte Säulen), während die Fleckengröße (weiße Säulen) sich nur wenig verändert hat.

Der Befallsrückgang in den gekupferten Parzellen ist also in erster Linie durch eine verminderte Fleckenzahl bedingt.

Bei einer statistischen Verrechnung der dem Säulendiagramm zugrunde liegenden Zahlen ergaben sich für die Stauden- und Blattbonitur etwa die gleichen Sicherungen wie für den Gesamtbefall, während die Unterschiede in der Fleckenbonitur nicht gesichert waren. Auf die Wiedergabe dieser Zahlen wie auch der entsprechenden Werte aus dem Wahner Versuch, der das gleiche Ergebnis brachte, wird hier verzichtet.

Durch feuchtes, schwüles Wetter begünstigt, konnte sich die Krautfäule in der zweiten Julihälfte allgemein stark ausbreiten. Auch in den Versuchsparzellen war der Befall so stark, daß nur wenige Spitzenblätter verschont blieben. Zur Kennzeichnung des Befallsgrades empfahl es sich daher, die befallsfreien Blätter zu zählen. Tabelle 17 zeigt die Mittelwerte der Ende Juli nicht befallenen Blätter von 40 Trieben je Gruppe.

Die Anzahl der befallsfreien Blätter liegt nach Tabelle 17 bei den stark gekupferten Parzellen in gut gesichertem Ausmaß, in Wahn auch bei den niedrigen Kupferegaben mit Sicherungen von  $P < 1\%$ , über den Kontrollwerten. Im Vergleich mit der ersten Bonitur Mitte Juli sind die Befallsunterschiede Ende Juli wesentlich geringer. (Größte Differenz = 1,5 Blatt, das sind 7,5 % von durchschnittlich 20 Blättern je Pflanze.)

Demnach hat die Kupferdüngung in den Freilandversuchen einen deutlichen Befallsrückgang bewirkt, während in den Gewächshausversuchen trotz gesteigerter Kupferaufnahme keine Unterschiede feststellbar waren.

Tabelle 17  
Befallsfreie Blätter Ende Juli  
in Kupferdüngungsversuchen

Mittelwerte von 40 Trieben je Gruppe

Behandlung	B O N N $\bar{x}$   $s_{\bar{x}}$	W A H N $\bar{y}$   $s_{\bar{y}}$
0	0.63 ± 0.111	0.73 ± 0.124
100	0.68 ± 0.148	1.40 ± 0.178
100 + Zr	0.63 ± 0.123	1.48 ± 0.178
500	1.15 ± 0.155	1.66 ± 0.148
500 + Zr	1.03 ± 0.161	2.25 ± 0.178
500 + Ca	1.63 ± 0.167	2.25 ± 0.148
	GD <sub>5</sub> = 0.42	GD <sub>5</sub> = 0.44
	GD <sub>1</sub> = 0.55	GD <sub>1</sub> = 0.58
	GD <sub>0.1</sub> = 0.71	GD <sub>0.1</sub> = 0.75

#### IV. Kupferaufnahme

Voraussetzung für einen innertherapeutischen Bekämpfungseffekt ist die Anreicherung des Pflanzenmaterials mit dem betreffenden Stoff. Die im Zusammenhang mit den Infektionsversuchen durchgeführten Analysen

(Tab. 13—16) lassen zwar auf eine Aufnahmefähigkeit der Pflanze für zusätzliches Kupfer schließen, gehen aber kein klares Bild davon. Auch in der besprochenen Literatur gehen die Ansichten darüber sehr auseinander. Die folgenden Versuche haben sich daher eingehend mit dieser Frage befaßt.

## a) Kupferaufnahme durch die Wurzel

### 1. In Abhängigkeit von der gebotenen Menge

Die mit dem Kupfergehalt des Bodens ansteigenden Analysenwerte des Sämlingsversuches in Tabelle 14 zeigen, daß eine Kupferanreicherung in der Pflanze um etwa 100 % möglich ist. Das gleiche Ergebnis bringen die

*Tabelle 18*

Analysenzahlen aus dem Gefäßversuch  
1952 mit Fruhstorfer Standarderde

Behandlung	$\gamma$ Cu/g TS	
	BONA	HEIDA
Kontrolle .....	33,1	25,3
20 kg/ha Cu-sulf .....	37,7	31,5
100 kg/ha Cu-sulf .....	43,5	34,9
500 kg/ha Cu-sulf .....	53,8	55,9

in Tabelle 18 angeführten Analysenzahlen aus dem Gefäßversuch 1952.

In Freilandversuchen mit den gleichen Aufwandsmengen ist dagegen der Kupfergehalt, wie aus Tabelle 16 ersichtlich, unverändert. Auch Gefäßpflanzen in Gartenerde, die eine Woche nach Auflauf mit Cu-Sulfatgaben bis zu 0,35 % im Boden gedüngt wurden, zeigten keinen höheren Cu-Gehalt. Wie SIMON (1910) erstmals zum Ausdruck brachte, bestimmt die Bodenart offenbar weitgehend die Aufnehmbarkeit des Kupfers.

### 2. Der zeitliche Verlauf der Kupferaufnahme

RADEMACHER (1940) hat bei Untersuchungen an zwei Hafersorten gefunden, daß die Kupferaufnahme der Stoffbildung voraussetzt. Analysen-

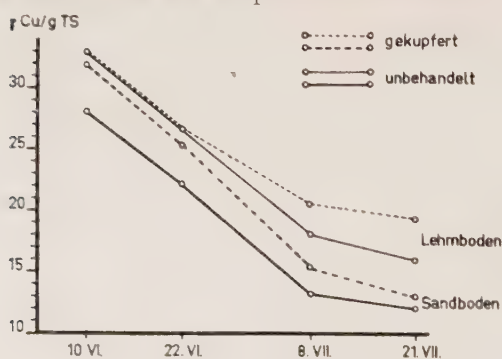


Abb. 7. Kupfergehalt der Blattmasse an verschiedenen Terminen in einem Gefäßversuch mit zwei Böden

zahlen zu verschiedenen Zeitpunkten entnommener Kartoffelblattproben aus dem Gefäßversuch 1954 und ihre graphische Darstellung in Abbildung 7 bestätigen diese Aussage auch für die Kartoffel.

Aus Abbildung 7 ergibt sich ferner, daß die Werte im Lehm Boden höher liegen und daß die Kupferung mit 600 kg/ha Cu-Sulfat in beiden Böden nur eine geringe Mehraufnahme bewirkt.

Mit den Analysenzahlen des ersten Sämlingsversuches in Tabelle 13 wurde versucht, Gesetzmäßigkeiten für den zeitlichen Verlauf der Kupfer-



aufnahme wie auch für deren Abhängigkeit von der gebotenen Konzentration abzuleiten. Die verringerten Kupfergehalte zu den späteren Terminen in Tabelle 13 wie auch in Abbildung 7 lassen nicht ohne weiteres erkennen, ob die Kupferaufnahme eingeschränkt ist oder ob bei unveränderter Aufnahme eine stärkere Substanzbildung der Pflanze den Abfall im relativen Kupfergehalt bedingt. Diese Frage läßt sich beantworten, wenn man nicht den Kupfergehalt je g TS betrachtet, sondern die von der Pflanze zu den einzelnen Terminen insgesamt aufgenommenen Kupfermengen.

Die Analysenzahlen des Sämlingsversuches wurden, wie erwähnt, mit dem Trockengut von durchschnittlich 40 Sämlingen je Gruppe und Termin gewonnen. Um methodisch bedingte Abweichungen der Gesamtkupferaufnahme durch unterschiedliche Pflanzenzahl je Topf oder natürliche Schwankungen im Gesamterntegewicht — die Kupferdüngung selbst ließ keine gewichtsverändernde Tendenz erkennen — auszuschalten, wurden die aufgenommenen Kupfermengen jeder Düngungsstufe für das Durchschnittserntegewicht jedes Termins berechnet. Die ermittelten Zahlen sind mit dem Logarithmus  $\log g\text{ Cu}$  als y-Achse und arithmetischer Abtragung der Erntetermine auf der x-Achse in die graphische Darstellung, Abbildung 8, eingezeichnet. Außerdem wurde für die

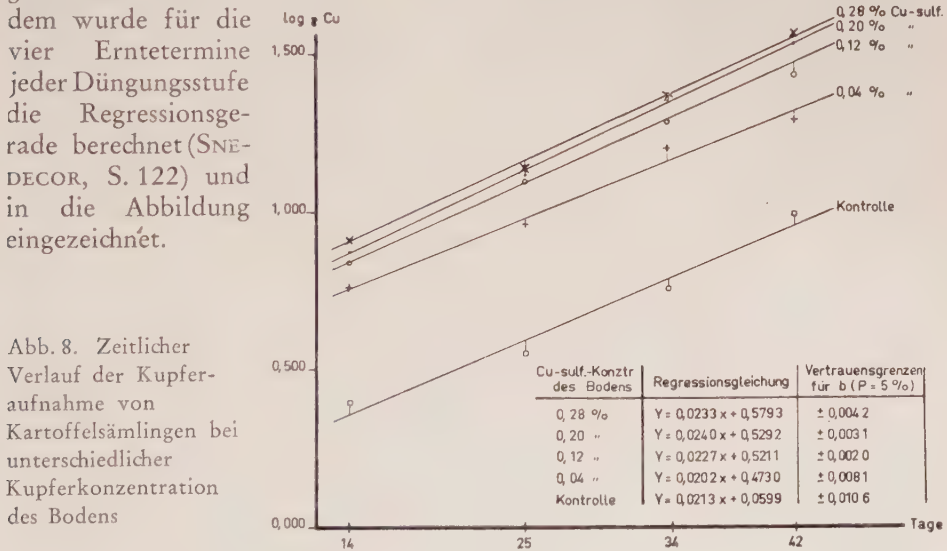


Abb. 8. Zeitlicher Verlauf der Kupferaufnahme von Kartoffelsämlingen bei unterschiedlicher Kupferkonzentration des Bodens

Aus der Darstellung ergibt sich folgendes:

1. Der stetige Anstieg der Kurven beweist eine ständige Aufnahme an Kupfer.
2. Der Logarithmus der aufgenommenen Kupfermenge ist in allen Düngungsstufen annähernd proportional der Aufnahmezeit; es besteht demnach eine geradlinige Abhängigkeit.
3. Aus der Parallelität der Kurven — nach Berücksichtigung der Vertrauensgrenzen für b — ergeben sich keine Unterschiede für den Regres-

sionskoeffizienten — kann auf eine gleichmäßige logarithmische Zunahme je Zeiteinheit in allen Düngungsstufen geschlossen werden.

4. Der mit steigendem Kupferangebot abnehmende Abstand der Kurven zeigt, daß die Kupferaufnahme mit der gebotenen Menge steigt, die Mehraufnahme jedoch immer geringer wird.

Der Abfall im relativen Kupfergehalt der älteren Pflanzen (Tab. 13) ist demnach bei fortgesetzter Kupferaufnahme durch den starken Stoffzuwachs der Pflanze bedingt.

### 3. Einfluß der Bindungsform des Kupfers

Die Abhängigkeit der Cu-Aufnahme von der Bindungsform wurde in Wasserkultur geprüft. Im Gegensatz zu Erdversuchen erlaubt diese Technik eine weitgehende Kontrolle der Ernährungsbedingungen. Durch Analyse der klaren Lösung besteht zudem jederzeit die Möglichkeit, die Konzentration löslichen Kupfers festzustellen (nach SCHROPP 1951, S. 194, ist in Nährlösung mit Bildung unlöslicher Stoffe zu rechnen, die als „Bodenkörper“ den in der Lösung schwebenden Wurzeln nicht direkt zugänglich sind).

Tabelle 19 gibt zunächst einen Überblick über Veränderungen des Anteils löslichen Kupfers in Nährlösung mit und ohne Pflanzenbesatz bei Zugabe von 1000  $\gamma$ /l Cu als Sulfat und als Cu-Komplexon<sup>1)</sup>. In der zehntägigen Versuchsdauer wurden von den 25 cm großen, in normaler Nährlösung vorgezogenen Augenstecklingspflanzen etwa 400 ml von den zugegebenen 1000 ml Flüssigkeit je Pflanze verdunstet.

Tabelle 19

Veränderungen des Kupfergehaltes in Nährlösung  
Durchschnittswerte von drei Gefäßen

	Gehalt löslichen Kupfers in $\gamma$ Cu/l bei Zugabe von 1000 $\gamma$ Cu in Form von			
	Cu-Sulfat		Cu-Komplexon	
	in Nährlösung		in Nährlösung	
	ohne Pfl.	mit Pfl.	ohne Pfl.	mit Pfl.
beim Ansetzen .....	1000	1000	1000	1000
nach 5 Tagen .....	900	340	1000	1180
nach 10 Tagen .....	850	150	1000	1400

Aus Tabelle 19 geht hervor, daß der Cu-Gehalt in den Kupfersulfatlösungen mit der Zeit und besonders unter Einwirkung des Pflanzenbesatzes absinkt, während das komplex gebundene Cu in Lösung bleibt und dessen prozentualer Anteil durch Pflanzenwuchs erhöht wird.

<sup>1)</sup> Siehe Fußnote S. 358.

Den Einfluß der Pflanze auf den Kupfergehalt zeigt eine Aufschlüsselung des Kupferverbleibs:

Von 1000  $\gamma$  Gesamtkupfer in 1 l Nährlösung waren nach zehn Tagen Einstellzeit nachzuweisen (abgerundete Werte):

Bei Zugabe in Form von .....	Sulfat	Cu-Komplexon
in Lösung <sup>1)</sup> .....	90 $\gamma$	840 $\gamma$
außen an d. Wurzel <sup>2)</sup> .....	250 $\gamma$	80 $\gamma$
im Wurzelgewebe <sup>2)</sup> .....	40 $\gamma$	40 $\gamma$
im Niederschlag <sup>3)</sup> .....	600 $\gamma$	10 $\gamma$
im Sproß <sup>4)</sup> .....	20 $\gamma$	30 $\gamma$
insgesamt	1000 $\gamma$	1000 $\gamma$

1) Der Anteil löslichen Kupfers ergibt sich aus der Multiplikation des Endvolumens (0,6 l) mit der Endkonzentration des Kupfers in Nährlösung (150 bzw. 1400  $\gamma$  Cu/l).

2) Die Wurzeln jeder Pflanze wurden sofort nach Entnahme in zwei annähernd gleich große Stränge zerlegt. Strang 1 wurde durch einmaliges Eintauchen in aqua dest. von der anhaftenden Nährlösung befreit, Strang 2 wurde 1 min in 0,1 %  $H_2SO_4$  und 8 min in fließendem Wasser abgespült. Der Kupfergehalt beider Stränge wurde auf das Gesamtgewicht der Wurzel umgerechnet. Das Kupfer in der Wurzel wurde aus dem Kupfergehalt des Stranges 2 berechnet, das der Wurzel anhaftende Kupfer aus der Differenz der Werte aus Strang 1 und 2.

3) Das ausgefallene Kupfer errechnet sich aus dem Gesamtkupfer der Nährlösung (Analyse nach Aufschüttelung des Niederschlags) abzüglich des in Lösung befindlichen Kupfers (Analyse vor Aufschüttelung).

4) Das von der Pflanze aufgenommene Kupfer errechnet sich aus der Differenz des absoluten Kupfergehaltes von Versuchspflanzen und von Kontrollpflanzen in normaler Nährlösung.

Aus der Aufstellung ist ersichtlich, daß der starke Abfall im Gehalt löslichen Kupfers bei den Sulfatpflanzen der Tabelle 19 auf eine 25%ige Ablagerung des Kupfers auf der Wurzeloberfläche und vor allem auf einen etwa 60%igen Ausfall zurückzuführen ist. Bei den Komplexpflanzen ist Ausfall wie Wurzelablagerung gering. Da das Kupfer in Lösung bleibt, von der Pflanze aber nur sehr wenig aufgenommen wird, bedingt die Verminderung des Flüssigkeitsvolumens durch Transpiration eine prozentuale Erhöhung des Cu-Gehaltes.

Aufnahme und Wirkung des Kupfers bei Zugabe in verschiedener Höhe und Form wurden nunmehr in einem Wasserkulturversuch geprüft, in dem die Pflanzen im Dreiblattstadium in die gekupferten Nährlösungen eingestellt wurden. Kupferausgangskonzentrationen sowie Menge und Kupfergehalt der in fünf Wochen gebildeten Trockenmasse sind aus Tabelle 20 zu entnehmen.

In Übereinstimmung mit FORSTER (1954) ergibt sich aus Tabelle 20, daß Kupfer in der komplexen Form wesentlich verträglicher und besser aufnehmbar für die Pflanze ist.



Tabelle 20

Kupferaufnahme und -wirkung in einem Wasserkulturversuch  
bei Cu-Zugabe in verschiedener Menge und Form

Mittelwerte von drei Pflanzen

Cu - Zugabe als: Cu - Sulfat				Cu - Komplexon			
Cu-Konzentration der Ausgangslös.	TS nach 5 Wochen	g Cu/g TS Blatt	Schäden <sup>1)</sup>	TS nach 5 Wochen	g Cu/g TS Blatt	Schäden <sup>1)</sup>	
Kontrolle	2, 20 g	19, 7					
0,000 01 %	2, 15 "	22, 4		2, 09 g	21, 9		
0,000 1 "	1, 57 "	36, 0	+	2, 13 "	43, 9		
0,001 "	0, 68 "	48, 0	++	2, 28 "	233, 5		
0,01 "	—	—	+++	1, 83 "	584, 3		
0,1 "	—	—	+++	—	—		+++

1) + = leichte Wurzelschädigung

++ = schwerer Wachstumsschaden an Sproß und Wurzel

+++ = Totalschaden

### b) Kupferaufnahme durch das Blatt

Wie bereits im Abschnitt B ausgeführt, kommen für die Versuche über Kupferaufnahme durch das Blatt nur pflanzenverträgliche Konzentrationen in Frage. Ihre Bestimmung mit Hilfe der „Eintauchmethode“ nach MÜLLER (1926) und DAXER (1939) scheiterte an der großen Empfindlichkeit des Kartoffelblattes für längere Benetzung. Kürzere Benetzungszeiten (drei bis fünf Stunden) ergaben, daß die Schädlichkeitsgrenze unterhalb 0,001 % Cu liegt. Da eine Analyse des Infiltrationsgewebes selber nicht möglich ist und deshalb das dort abgelagerte Kupfer biologisch geprüft werden muß, beschränken sich die an dieser Stelle mitgeteilten Versuche auf die quantitative Bestimmung des vom Eindringungsort weitertransportierten Kupfers. Als pflanzenverträglich gelten dabei Behandlungen, die keinen äußerlich sichtbaren Schaden verursachen.

Nach Abdecken der oberen bzw. unteren Staudenpartie mittels wasserabstoßender Tücher wurden sechs Wochen alte Kartoffeltopfpflanzen mit 1 % Kupferkalkbrühe oder 0,01 % Kupfersulfatlösung besprüht. Die Kontrollpflanzen wurden mit Aqua dest. behandelt. Die Pflanzen standen eine Woche lang im feuchtwarmen Gewächshaus; Laubschäden zeigten sich nur in geringem Ausmaß an den kupfersulfatgespritzten Pflanzen. Anschließend wurden die nicht behandelten Pflanzenteile geerntet und auf Kupfer analysiert. Im Vergleich der Zahlen von „Kontrolle“ und „behandelt“ ließen sich keine nennenswerten Unterschiede finden. Ein Weitertransport etwa eingedrungenen Kupfers über größere Strecken in der Pflanze hatte also nicht stattgefunden.

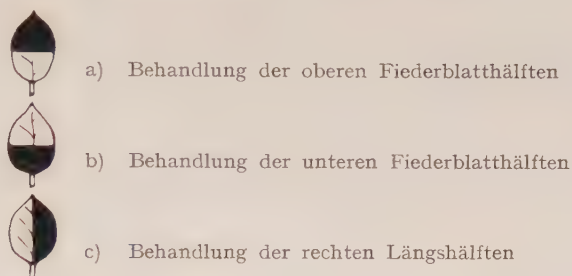
In einer weiteren Versuchsserie wurde daher geprüft, inwieweit eine Wanderung durch die intakte Epidermis eingedrungenen Kupfers auf kurze Entfernungen möglich ist. Die Versuche fußen auf der Annahme, daß sich gegenüberliegende Fiedern eines Blattes in ihrem anatomischen und physio-

logischen Verhalten entsprechen<sup>1)</sup>. In der „Gegenfieder“ ist somit für jedes behandelte Fiederblatt eine „Kontrolle“ gegeben.

Im ersten Versuch wurden drei Lösungen verwendet:

1. 1%ige Bordeauxbrühe.
2. 0,1%ige Kupfersulfatlösung + 0,1 % Rapidnetzer.
3. 0,01%ige Kupfersulfatlösung + 0,1 % Rapidnetzer.

Mit ihnen wurden die Fiederblätter der linken Blathälften behandelt, während die Fiedern der rechten Blathälften die „Kontrolle“ bildeten. Die Spitzenfiedern blieben unberücksichtigt. Die Lösungen wurden mit einem Pinsel auf dreierlei Art aufgetragen:






Um ein Verlaufen des Belages zu verhindern, wurde vorher über die Trennlinie zwischen „behandelt“ und „unbehandelt“ ein Vaselinestreifen gelegt. Für jede Behandlungsart wurden zehn Blätter (= 30 Fiederblätter) an verschiedenen Pflanzen herangezogen. Alle zwei Tage wurden die behandelten Stellen mit Aqua dest. befeuchtet. Nach 14 Tagen wurden die nicht geküpferten Blatteile der behandelten Fiederblätter und die entsprechenden Teile der Gegenfieder geerntet und die Analysenzahlen beider Proben für jede Behandlung miteinander verglichen. Tabelle 21 zeigt die prozentuale Erhöhung des Cu-Gehaltes in den untersuchten Blatteilen der behandelten Fiederblätter.

Die Zahlen der Tabelle 21 ergeben, daß eine Kupferaufnahme stattgefunden hat, die sich bei der Behandlung c) mit 0,1 % Cu-Sulfat in einer

Tabelle 21

Prozentualer Anstieg des Kupfergehaltes in den unbehandelten Hälften teilweise gekupfelter Kartoffelfiederblätter

Behandlungsart:	a) 	b) 	c) 
Kupferlösung			
1. Bordeauxbrühe 1%ig .....	5,7%	9,1%	12,3%
2. Cu-Sulfat 0,1% + 0,1% Rapidnetzer	9,5%	6,9%	20,4%
3. Cu-Sulfat 0,01% + 0,1% Rapidnetzer	0	1,1%	14,7%

<sup>1)</sup> Im Kupfergehalt unterscheiden sie sich, wie mehrfache Bestimmungen zeigten, um weniger als 0,5 %.

etwa 20%igen Cu-Anreicherung des Nachbargewebes äußert. Eine Wiederholung des Versuchs bei geringerer Luftfeuchte ergab keine Unterschiede. Im dritten Versuch dieser Art wurden die Pflanzen daher in der zweiten Woche ständig bei 100 % Luftfeuchtigkeit gehalten. Da auch der Einfluß der Epidermisbeschaffenheit (Spaltöffnungen) auf die Aufnahme geprüft werden sollte, wurde von je 60 Fiederblättern die Blattober- bzw. -unterseite der rechten Längshälfte mit 2%iger Bordeauxbrühe behandelt. Nach 14 Tagen wurden die „Analysehälften“ der behandelten Fiedern und der entsprechenden Gegenfiedern in drei Partien geerntet. Um einen Überblick über die Gleichförmigkeit paralleler Bestimmungen bei dieser Versuchsanstellung zu geben, sind in Tabelle 22 die Einzelwerte zusammengestellt.

Tabelle 22

Kupferanreicherung im Nachbargewebe nach teilweiser Behandlung von Blattober- bzw. -unterseite mit 2%iger Bordeauxbrühe

		Cu-Gehalt in $\gamma/g$ TS		Anstieg des Cu-Gehaltes	
		Linke Fieder (behandelt)	rechte Fieder (Kontrolle)	absolut	relativ
Oberseite behandelt	1.	30,36	26,40	3,96 $\gamma/g$ Cu	15,0%
	2.	27,45	22,80	4,65 „	20,4 „
	3.	32,00	28,93	3,07 „	11,2 „
Unterseite behandelt	1.	36,00	24,30	11,70 „	48,1 „
	2.	34,35	23,80	10,55 „	44,3 „
	3.	40,00	25,60	14,40 „	56,2 „

Aus den gefundenen Werten ist eindeutig erkennbar, daß die Kupferaufnahme durch die Blattunterseite größer ist. Die Kupferanreicherung der dem Infiltrationsgewebe benachbarten Fiederblattpartien betrug maximal 50—60 %.

#### c) Die von der Pflanze maximal aufnehmbare Kupfermenge

Die Tatsache, daß bei den bisherigen Versuchen und auch nach vielen Literaturangaben Steigerungen des Kupfergehaltes in der gesunden Pflanze meist nur bis zu 100 % beobachtet wurden, berechtigt nicht zu dem Schluß, daß damit die wahre Aufnahmefähigkeit der Pflanze erschöpft ist. Die Bedeutung der maximalen pflanzenverträglichen Kupferkonzentration (*dosis tolerata*) für die Fragestellung meiner Arbeit und die Schwierigkeiten ihrer Bestimmung sind früher dargelegt. In den nun zu beschreibenden Wasserkulturexperimenten wurde versucht, die noch verträgliche Kupferkonzentration außerhalb der Pflanze durch Messung der täglichen Verdunstungsquoten und die Empfindlichkeit des Gewebes selber mit Hilfe einer Relation aus dem physiologischen Geschehen der Pflanze zu kennzeichnen.

Von 75 Kartoffelstecklingspflanzen wurden nach vier Wochen Anzucht in normaler Nährlösung 40 möglichst gleichmäßige Pflanzen aus-



gesucht und je drei davon in Nährlösungen umgestellt, die mit Kupfersulfat bzw. Cu-Komplexon auf Cu-Gehalte von 0,00004, 0,0001, 0,0004, 0,001, 0,004 und 0,01 % gebracht worden waren. Vier Pflanzen wurden als „Kontrolle“ wieder in normale Nährlösung eingestellt. An den neun folgenden Tagen, an denen zur Mittagszeit im Gewächshaus Temperaturen bis zu 30 °C und rel. Feuchte < 50 % herrschten, wurde die Wasserabgabe aus dem täglichen Gewichtsverlust der Töpfe bestimmt. Die unproduktive Verdunstung durch die Kiesabdeckung hindurch wurde an drei gleichartig gehaltenen Töpfen ohne Pflanzen ermittelt. Um diesen Verlust, der in den neun Tagen insgesamt 7 g je Topf ausmachte, wurden die täglichen Verdunstungszahlen anteilig vermindert.

In den Versuchslösungen, anfangs 700 ml je Gefäß, hatte sich im Laufe der neun Tage die Konzentration löslichen Kupfers wie folgt verändert<sup>1)</sup>:

Bei einem Gehalt der Ausgangslösung von	waren nach 9 Versuchstagen an löslichem Kupfer vorhanden bei Zugabe von	
	Cu-Sulfat	Cu-Komplexon
400 γ/l	32 γ/l	450 γ/l
1 000 „	78 „	1 200 „
4 000 „	700 „	5 500 „
10 000 „	1 025 „	14 300 „
40 000 „	5 350 „	81 000 „
100 000 „	76 000 „	102 200 „

Um die Transpirationswerte bei den einzelnen Gruppen und in ihrem zeitlichen Verlauf miteinander vergleichen zu können, mußten zunächst Bezugsgrößen gefunden werden, die von den methodisch bedingten Schwankungen unabhängig machten. Schwankungen auf Grund unterschiedlicher Pflanzengröße wurden ausgeglichen, indem die Verdunstungszahlen eines jeden Tages auf „g TS Blatt“ bezogen wurden. Da eine Gewichtsbestimmung erst nach Versuchsende möglich war, konnte nicht berücksichtigt werden, daß während der neun Versuchstage ein gewisser Zuwachs erfolgte. Befürchtungen, daß ein möglicher Abbau der Blattsubstanz bei den geschädigten Pflanzen einen Verlust an Trockenmasse bedeute und damit die Bezugsgröße „g TS Blatt“ in Frage stelle, waren unbegründet: Da nach SCHUMACHER (1954) Stickstoff von der Pflanze nicht ausgeschieden wird, hätte sich ein Substanzabbau in einer relativen N-Anreicherung äußern müssen. Stickstoff-Analysen ergaben aber, daß der Gesamt-N-Gehalt der Blätter und Stengel in allen Gruppen gleich hoch war (65 bzw. 40 mg/gTS).

Auf Klimaschwankungen zurückgehende Transpirationsunterschiede wurden ausgeglichen, indem die täglichen Verdunstungszahlen je g TS Blatt der Kontrolle = 100 gesetzt und die Verdunstungsgrößen der übrigen Gruppen darauf bezogen wurden.

<sup>1)</sup> Vgl. hierzu auch S. 382.

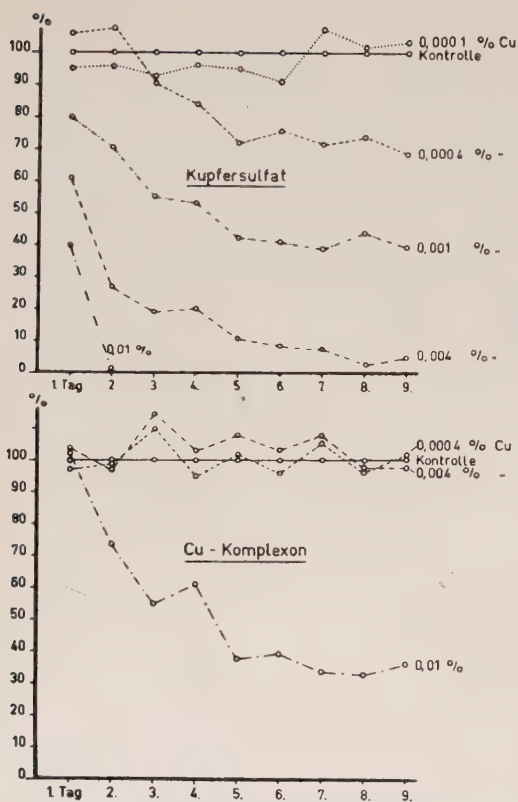


Abbildung 9 zeigt auf Grund der ermittelten Zahlen den Transpirationsverlauf bei den verschiedenen Cu-Konzentrationen. Der Übersichtlichkeit halber wurden die der Kontrolle weitgehend entsprechenden Kurven für Cu-Sulfat 0,00004 sowie Cu-Komplexon 0,00004, 0,0001 und 0,001 % weggelassen.

Es ergibt sich, daß in der Sulfatreihe schon 0,0004 % Cu ein deutliches Absinken der Transpiration zur Folge hat, während der Abfall in den Komplexgruppen erst bei 0,01 % eintritt. Weiteren Aufschluß über das Verhalten der Versuchspflanzen gibt Tabelle 23.

Abb. 9. Transpirationsmengen an neun aufeinanderfolgenden Tagen in g H<sub>2</sub>O/g TS Blatt, bezogen auf Kontrolle = 100. Mittelwerte von drei Pflanzen

Aus den ermittelten Zahlenwerten läßt sich folgendes ableiten:

Bei steigenden Kupfergaben hat die Pflanze zwar einen höheren Kupfergehalt (Spalte c), im Verhältnis zur gebotenen Konzentration wird die Mehraufnahme jedoch immer geringer (Spalte d). In Spalte e ist die aufgenommene Kupfermenge in % zur „möglichen Aufnahme“ ausgedrückt. Unter letzterer ist diejenige Kupfermenge zu verstehen, die im Volumen der verdunsteten Flüssigkeit löslich vorhanden war und in die Pflanze hätte eindringen können, wenn die Aufnahme durch die Wurzel nicht behindert würde<sup>1)</sup>. Die zunächst fallenden Prozentzahlen zeigen, daß die Wurzel bei höheren Gaben das Kupfer in steigendem Maße zurückhält. Überschreitet die Konzentration löslichen Kupfers die Verträglichkeitsgrenze (punktierter Querlinie), erkenntlich an den verringerten Verdunstungszahlen (Spalte b), dem geringeren Wassergehalt der Frischsubstanz FS

<sup>1)</sup> Für die Berechnung der „möglichen Aufnahme“ (Verdunstungsvolumen  $\times$  Gehalt der Nährlösung an löslichem Cu) wurde bei der Sulfatdüngung der Gehalt der Endlösung, bei der Komplexdüngung der Gehalt der Ausgangslösung, in beiden Fällen also gemäß Aufstellung auf Seite 387 die geringste Konzentration zugrunde gelegt. Die ermittelten Zahlen stellen also Mindestwerte dar; der Anteil aufgenommenen Kupfers an der „möglichen Aufnahme“ (Spalte e) wird demnach — vor allem bei Sulfaternährung — noch geringer sein, als in der Tabelle angegeben.

Tabelle 23  
Aufnahmefähigkeit der Wurzel für Kupfer in einem  
Wasserkulturversuch

Cu-Gehalt der Ausgangslösung	TS in % FS	Transpirations- menge ml/g TS Blatt	$\gamma$ Cu je g TS	aufgenommene Cu-Menge( $\gamma$ /gTS) je 100 $\gamma$ lösl. Cu in Nährlösung	aufgenommenes Cu in % zur „möglichen Auf- nahme“	aufgenommene Cu-Menge in $\gamma$ je ml Verdunstungs- flüssigkeit
	a	b	c	d	e	f
Kontrolle	6,4	302,0	28,8			
Sulf. 0,000 04 % Cu	6,4	306,0	34,8	18,6	ca 100	0,04
„ 0,000 1 „	6,6	296,2	42,9	19,2	95	0,10
„ 0,000 4 „	6,9	247,5	47,3	5,6	31	0,18
„ 0,001 „	8,0	152,4	59,0	3,2	36	0,46
„ 0,004 „	9,8	50,4	115,0	2,3	86	4,20
„ 0,01 „	17,4	—	361,0	0,5	—	> 10,00
Kompl. 0,000 04 % Cu	6,6	299,0	33,5	3,3	23,2	0,07
„ 0,000 1 „	6,2	291,0	45,1	1,7	10,0	0,10
„ 0,000 4 „	7,1	295,5	60,2	0,87	6,3	0,25
„ 0,001 „	7,1	310,0	91,5	0,67	4,5	0,44
„ 0,004 „	6,8	309,5	226,3	0,51	3,0	1,16
„ 0,01 „	8,9	149,4	1011,0	0,28	20,0	20,00

Die Zahlen sind Mittelwerte von drei Pflanzen.

Die punktierten Querlinien kennzeichnen die Verträglichkeitsgrenze (Erklärung siehe Text).

(Spalte a) und der zunehmenden Wurzelbräunung, so steigt der Anteil aufgenommenen Kupfers wieder (Spalte e). Die mit 1 ml Verdunstungsflüssigkeit in die Pflanze eingebrachte Kupfermenge (Spalte f) steigt dagegen von der geringsten bis zur höchsten Konzentration.

In der komplexgebundenen Form wird Kupfer zwar wesentlich besser von der Pflanze getragen und auch in erhöhtem Maße gespeichert, der Tendenz nach sind die angeführten Verhältnisse aber die gleichen wie bei Sulfaternährung. Sie dürfen wohl folgendermaßen gedeutet werden:

Bei pflanzenverträglichen Kupferkonzentrationen ist die Aufnahme plasmatisch reguliert und in Grenzen gehalten. In dem Maße, wie steigende Cu-Gaben toxisch wirken, läßt dieses Regulierungsprinzip nach, und Kupfer dringt auf dem Diffusionsweg in Wurzel und Pflanze ein. Bei wesentlich kleineren Verdunstungsgrößen kann daher absolut mehr Kupfer eindringen, wodurch die Quotienten in Spalte e und f ansteigen.

Unter Berücksichtigung der Löslichkeitsverhältnisse (Aufstellung S. 387) ergibt sich für die Wurzelversorgung mit Kupfer bei Sulfatzufuhr eine Verträglichkeitsgrenze zwischen 80 und 700  $\gamma$ , bei Komplexdüngung oberhalb 80 000  $\gamma$  Cu/l. Bei einer Wiederholung des Versuches mit anderen Konzentrationsabstufungen, aber gleichlautendem Ergebnis, konnte die Spanne für die Verträglichkeitsgrenze bei Sulfatzufuhr auf 200 bis 500  $\gamma$  Cu/l eingengt werden.



Auf der Suche nach Relationen, die nach Möglichkeit unabhängig von allgemeinen Ernährungsverhältnissen sein sollten und geeignet waren, ein Bild von der physiologischen Verteilung des Kupfers in der Pflanze zu vermitteln, bot sich der in Tabelle 24 dargestellte Quotient  $\gamma$  Cu je g TS Blatt/ $\gamma$  Cu je g TS Stengel an. Nach DAWSON und NAIR (1949) und vielen anderen Autoren ist Kupfer in der Pflanze gebunden an das Plasma-Eiweiß und seine Bausteine. Da die Blätter plasmareicher als die Stengel sind — Stickstoffanalysen der Versuchspflanzen ergaben einen Gesamt-N-Gehalt<sup>1)</sup> der Blätter von etwa 65 mg, der Stengel von etwa 40 mg/g TS —, muß auch der Kupfergehalt der Blätter höher sein.

Der Quotient  $\frac{a}{b}$  in Tabelle 24 zeigt, daß in der Kontrolle und den niederen Sulfatkonzentrationen das Blatt etwa 1,6- bis 1,7mal Cu-reicher ist als der Stengel. Der Quotient aus den Gesamtstickstoffzahlen (65 und 40 mg/g TS) ergibt ebenfalls 1,6. Es ist also eine feste Cu : N-Beziehung innerhalb der Pflanze gegeben. Die auf 1 mg N entfallende Cu-Menge steigt je nach Cu-Versorgung von  $\frac{1}{2} \gamma$  (Kontrolle) bis auf 1  $\gamma$  (Sulfat 0,0004 ‰). Beim weiteren Anstieg des Kupfergehaltes in Nährlösung (Sulfatzufuhr) und Pflanze wird der Quotient kleiner: Kupfer wird in steigendem Maße bereits im Stengel abgeschieden, das Gleichgewicht Cu : N in der Pflanze ist gestört.

Tabelle 24  
Verteilung des Kupfers in der Pflanze

Cu-Gehalt der Ausgangslösung	$\gamma$ Cu / g TS		$\frac{a}{b}$
	a) im Blatt	b) im Stengel	
Kontrolle	32,5	20,1	1,62
Sulf. 0,00004 ‰ Cu	39,0	24,4	1,60
" 0,0001 "	52,2	31,0	1,68
" 0,0004 "	60,0	34,1	1,76
" 0,001 "	63,0	65,0	0,97
" 0,004 "	103,1	144,0	0,71
" 0,01 "	241,0	463,0	0,52
<hr/>			
Kompl. 0,00004 "	39,0	24,5	1,59
" 0,0001 "	57,7	29,6	1,95
" 0,0004 "	83,1	36,3	2,29
" 0,001 "	134,0	43,7	3,07
" 0,004 "	376,2	68,4	5,50
" 0,01 "	1625,0	445,0	3,65

Die Zahlen sind Mittelwerte von drei Pflanzen.

Die gestrichelten Querlinien kennzeichnen die Verträglichkeitsgrenze.

Abbildungen 10 und 11 zeigen eine Pflanze aus dem Wiederholungsversuch mit einem Kupfergehalt wie in Gruppe „Sulfat 0,004 ‰“ der Tabelle 24.

<sup>1)</sup> Wegen der schwierigen Eiweißbestimmung von getrocknetem Pflanzenmaterial wurde der Gesamtstickstoff mit Phenolschwefelsäure nach SCHUPHAN (1953) bestimmt und als Maßstab für den Plasmagehalt gewählt.

Die schon nach einigen Tagen einsetzenden Schäden — Abknicken der noch voll turgeszenten Blätter an der Blattbasis mit glatter Bruchfläche — hat auch DAXER (1939) bei Cu-Injektionen an Pflaumenzweigen beobachtet und auf große Empfindlichkeit der Blattbasis zurückgeführt. Sie kennzeichnen den Zustand einer kupfervergifteten Pflanze bei Sulfaternährung.

Wird Kupfer aber in Form des Komplexsalzes gegeben, so zeigen die ansteigenden Quotienten in Tabelle 24, daß das Kupfer mit dem Transpirationsstrom größtenteils bis in die Blätter gelangt und dort nach Abgabe des Transpirationswassers zurückbleibt. Das Fehlen einer Cu : N-Relation



Abb. 10. links: Pflanze bei normaler Kupferernährung; rechts: Pflanze nach viertägigem Aufenthalt in gekupfter Nährlösung (0,004 % Cu als Sulfat) mit einem Gehalt von 100 γ Cu/g TS Blatt und 150 γ Cu/g TS Stengel



Abb. 11. Blattachsel der in Abb. 10 rechts dargestellten Pflanze

läßt darauf schließen, daß das reaktionsträge komplexe Kupfer keine Verbindung mit dem Pflanzeneiweiß eingeht. Während Cu-komplex-gedüngte Pflanzen noch bei annähernd 400 γ Cu/g TS-Blatt normal reagieren, zeichnen sich bei der Versorgung mit ionisiertem „reaktionsaktivem“ Kupfer bereits bei einem Gehalt der Blattrockenmasse von 60 γ Cu/g deutliche Schäden ab. Der letzte Wert, entsprechend 1 γ Cu/mg N, wird daher als Schwellenwert für die Verträglichkeit ionisiert eingedrungenen Kupfers in der Pflanze angesehen.

#### V. Inaktivierung des Kupfers in der Pflanze

Schon bei den in Abschnitt III geschilderten Infektionsversuchen zeigte Kupfer in der Pflanze auch bei Verdoppelung des natürlichen Gehaltes keine erkennbare Wirkung auf den Pilz. Die Pflanze hat also offenbar eine Inaktivierungskraft für Kupfer, die nunmehr näher zu bestimmen ist.

Einerseits waren die durch Wurzel und Blatt aufgenommenen verträglichen Kupfer-Höchstmengen, andererseits die durch Stengelschnittflächen eingeführten höheren Cu-Mengen auf ihre fungizide Wirkung in der Pflanze zu prüfen. Darüber hinaus sollten Sporenkeimteste mit Pflanzenpreßsäften das Inaktivierungsproblem von der chemisch-biologischen Seite beleuchten.

### a) Qualitativer Nachweis der Inaktivierung

#### 1. Bei Aufnahme durch die Wurzel

Je zehn Kartoffelstecklingspflanzen wurden in folgende Nährlösungen eingestellt:

1. Normale Nährlösung.
2. Nährlösung mit Cu-Zusatz von 0,0004 % als Sulfat.
3. Nährlösung mit Cu-Zusatz von 0,001 % als Cu-Komplexon.

Mit einem Kupfergehalt der Blattoberseite von 58,6  $\gamma$ /g bei Sulfatdüngung und 453  $\gamma$ /g bei Komplexdüngung hatten die Pflanzen nach fünf Wochen die maximalen verträglichen Cu-Mengen aufgenommen. Sämtliche Fiederblätter wurden daraufhin mit einem Tropfen *Phytophthora*-Zooporen-Suspension in einen 0,8 cm breiten Vaseline-Ring hinein beimpft, der vorher mit einem Glasröhrchen auf die Mitte der Blattoberseite gedrückt worden war. Die Pflanzen standen im Gewächshause bei 100 % RF; sämtliche Infektionen gingen an. Nach vier Tagen wurde zahlenmäßig bestimmt, ob der einzelne Fleck in Bezug auf die Tropfenfläche kleiner (1), gleich groß (2), wenig größer (3) oder weit größer war (4). Im statistischen Vergleich der Kontrolle ( $\bar{x} = 3,26$ ) und den beiden behandelten Gruppen ( $\bar{x} = 3,33$  bzw. 3,19) ergaben sich bei P-Werten  $> 30$  % keine Unterschiede.

#### 2. Bei Aufnahme durch das Blatt

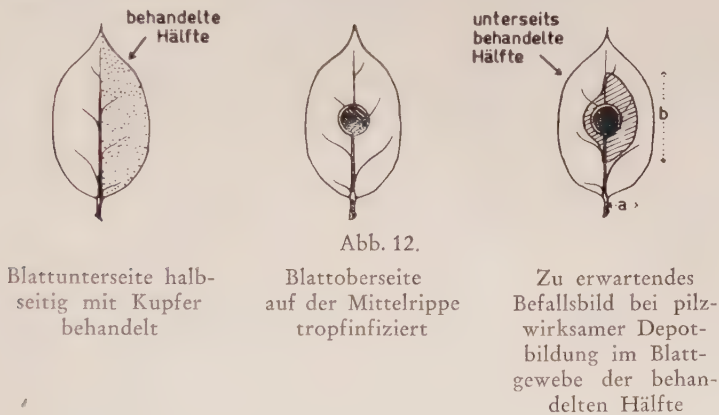
Wie früher gezeigt, kann durch das Blatt eingedrungenes Kupfer im behandelten Gewebe selber quantitativ nicht erfaßt werden. Die Untersuchungen über die Kupferaufnahme machen es zwar wahrscheinlich, daß oberhalb eines Schwellenwertes von 1  $\gamma$  Cu/mg N (= etwa 60  $\gamma$ /g TS) ionenhaft eingedrungenes Kupfer zu Schäden führt, und auch die beschriebenen Versuche über den Cu-Transport in der Pflanze lassen keine wesentlich höheren Zahlen vermuten. Sollten dennoch größere Kupfermengen in das gesunde Gewebe eindringen können und direkt am Infiltrationsort deponiert werden, so genügt für die Beantwortung der hier gestellten Frage, dieses Kupfer biologisch auf seine Pilzwirksamkeit zu prüfen.

An Kartoffeltopfpflanzen wurden die linken Fiederblatt-Längshälften unterseits mit Cu-Lösung bestrichen. Auf Grund der Ergebnisse in Tabellen 21 und 22 war bei dieser Behandlungsart die größtmögliche Kupferaufnahme zu erwarten. Die Pflanzen standen anschließend 14 Tage bei 100 % RF und wurden dann mit *Phytophthora inf.* auf der Mitte der Fiederblatt-Oberseiten in der oben beschriebenen Weise tropfinfi-



ziert. Die Impflösung kam also mit dem Kupferbelag nicht in Berührung. Eine pilzwirksame Cu-Depotbildung im Gewebe der gekupferten Blattoberseite hätte sich in der Weise zeigen müssen, daß die Ausdehnung des Pilzes in den behandelten Blatteilen eingeschränkt war, so wie es in Abbildung 12 schematisch dargestellt ist.

Im ersten Versuch dieser Art wurden 60 Fiederblätter (Spitzen und Seitenfiedern) mit 1%iger Bordeauxbrühe, im zweiten Versuch 50 Fiederblätter mit 2%iger Bordeauxbrühe behandelt, jeweils unter Zusatz von 0,1 % Rapidnetzer. Vier Tage nach Infektion wurden die befallenen Flächen jeder Fiederblatthälfte ermittelt<sup>1)</sup> und paarweise nach dem Vorzeichentest von DIXON verglichen. Bei P-Werten  $> 25\%$  ergaben sich keine Unterschiede. Auch die Sporangienbildung war auf der ganzen Befallsfläche gleichmäßig.



### 3. Bei Aufnahme durch Stengelschnittfläche

Um das Pflanzengewebe mit Kupfer zu „überschwemmen“, wurden abgeschnittene Kartoffeltriebe in 0,002%ige Kupferlösung (Sulfat) eingestellt. Schon nach drei Tagen fielen die noch voll turgeszenten Blätter ab (wie in Abb. 10) und hatten dann einen Kupfergehalt von 160 bis 180  $\gamma/g$  TS. Es gelang auch weiterhin nicht, Kartoffelblätter an abgeschnittenen Triebteilen auf einen höheren Kupfergehalt zu bringen. Die Versuche wurden daher mit abgeschnittenen Blättern fortgesetzt.

Nachdem sich in einem Vorversuch ergeben hatte, daß die Blätter bei 0,003 % Cu (Sulfat) noch etwa eine Woche grün bleiben (wenn auch mit teilweise kollabierten Stielen), wurden 50 Blätter in diese Konzentration und 35 weitere in aqua dest. eingestellt. Sechsmal im Abstand von zwölf Stunden wurden aus beiden Gruppen acht Blätter entnommen: Fünf von diesen wurden in aqua dest. umgestellt und im feuchten Schwitzkasten an sämtlichen Fiederblättern mit *Phytophthora inf.* tropfinfiziert, die drei

<sup>1)</sup> Die Befallsfläche einer Fiederblatthälfte wurde als halbe Ellipse betrachtet und errechnet sich aus  $a \cdot \frac{b}{2} \cdot \pi/2$  (Bedeutung von a und b siehe Abb. 12).

anderen zur Kupferanalyse getrocknet. (Von der Kontrolle wurde nur einmal Analysenmaterial genommen.) Nach jeweils vier Tagen wurde der Befall zahlenmäßig nach dem Bonitierungsschema (S. 392) erfaßt. Die mittleren Befallszahlen sind in Prozent zur jeweiligen Kontrolle in Tabelle 25 mit den Analysenwerten aufgeführt.

Tabelle 25

Infektionsergebnisse an abgeschnittenen, verschieden lang in Kupferlösung eingestellten Kartoffelblättern  
Verwendete Cu-Lösung: 0,003 % Cu in Form von Sulfat

Standzeit in der Cu-Lösung bis zur Infektion	Cu-Gehalt am Inf.-termin g Cu/g TS	mittlere Befallszahl in % zur jeweiligen Kontrolle
0	21	—
12	75	86
24	195	102
36	269	85
48	412	100
60	603	205
72	812	148

Die Kupferung vermochte in keiner Stufe den Befall zu vermindern; in den beiden letzten Gruppen bedingte sie sogar eine geringere Widerstandskraft.

#### b) Quantitativer Nachweis der Inaktivierung

Eine quantitative Vorstellung von der Inaktivierungskraft pflanzlicher Substanz soll in der Gegenüberstellung der Keimzahlen aus reinen Kupfersulfatlösungen und gekupferten Preßsäften gegeben werden.

Bei Versuchen mit *Phytophthora infestans* zeigte es sich, daß in reinem Wasser mit und ohne Kupfer fast nur Zoosporenkeimung möglich war (in Kontrolle bis zu 100 %), die Temperaturen zwischen 10 und 18 ° verlangte, während im Preßsaft die Sporen ausschließlich direkt mit Keimschlauch keimten (bis zu 50 % in Kontrolle), bei Temperaturen unterhalb 20 ° aber keinerlei Keimung eintrat. Da die Giftwirkung temperaturabhängig ist und zudem die Zoosporendifferenzierung unter Gifteinwirkung eher sistiert wird als die Keimschlauchbildung (KRÜGER 1939), konnten die Keimzahlen aus reinen Kupferlösungen und gekupferten Preßsäften nicht miteinander verglichen werden. Zur Orientierung sei nur angegeben, daß in reinen Kupfersulfatlösungen 0,0001 % Cu in den meisten Fällen jede Keimung unterband, während bei 0,01 % Cu im Preßsaft noch etwa 15 % der Sporen keimfähig waren. Die Versuche wurden daraufhin mit einem *Alternaria tenuis*-Stamm fortgesetzt, dessen Keimung in Wasser wie Pflanzenpreßsaft mehr als 90 % betrug und temperaturunabhängig war.

Die Versuchslösungen wurden hergestellt, indem 1 ml Sporenaufschwemmung (Dichte etwa 30 000 Sporen je ml) zu 1 ml Kupferlösung bzw. zu 2 ml Blattpreßsaft + 1 ml Kupferlösung zugefügt wurden. In Anbetracht der dabei entstehenden Verdünnung wurden die Kupferlösungen im ersten Fall in doppelter, im zweiten Fall in vierfacher Versuchskonzentration angesetzt. Für jede Konzentration wurde ein Objektträger (fünf Tropfen) ausgezählt. Abbildung 13 veranschaulicht das Ergebnis eines solchen Versuchs, bei dem auf Grund von Vorversuchen der Bereich größten Wirkungsfalles in jeweils sechs Konzentrationsabstufungen unterteilt wurde.

Die rechnerische Bearbeitung der Keimzahlen aus reiner Cu-Lösung (nach FINNEY) ergab mit einem  $Z^2$  von 34,8 (Tabellenwert 43,8), daß die  $5 \cdot 6 = 30$  Einzelbeobachtungen einer gemeinsamen Geraden angehören, deren Regressionsgleichung  $y = 6,88x - 16,387$  lautet. Die Vertrauensgrenzen für den Richtungskoeffizienten  $b$  errechneten sich zu 6,48 und 7,28 ( $P = 5\%$ ). Eine Wiederholung des Versuches mit reiner Cu-Lösung lieferte folgendes Ergebnis:  $y = 7,60x - 18,465$ ;  $Z^2 = 28,4$ ; Vertrauensgrenzen von  $b$  bei  $P = 5\%$ : 7,128 und 8,07. Die beiden Geraden weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Die  $LD_{50}$  liegt in beiden Fällen um 1250  $\gamma$  Cu/l.

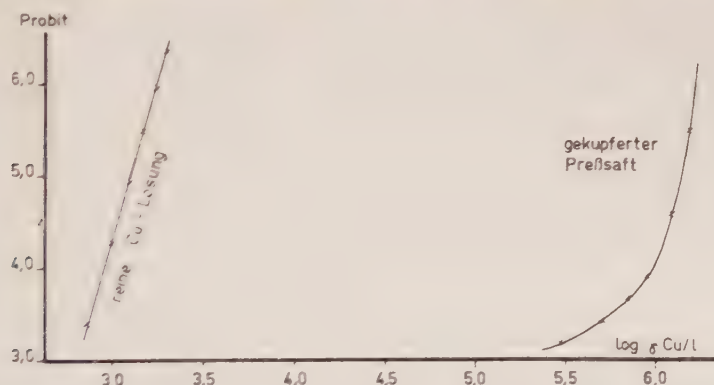


Abb. 13. Sporenkeimung von *Alternaria tenuis* in reinen Cu-Sulfatlösungen und gekupferten Pflanzenpreßsaft

Das Kurvenbild der Keimzahlen aus dem Pflanzenpreßsaft entspricht dagegen einer Exponentialkurve. Durch arithmetisches Abtragen der Konzentrationen auf der x-Achse und logarithmisches Abtragen der Keimprozentage auf der y-Achse entsteht eine gerade Linie, deren Regressionsgleichung nach SAMUELSON (1946 S. 103) berechnet wurde ( $y = 0,001095x - 0,19228$ ). Nach Zerlegung der Gruppenvarianz ergab sich im F-Test ( $F$  errechnet = 5,25;  $F$  Tabellenwert = 5,77) keine signifikante Abweichung von der linearen Regression. Für die  $LD_{50}$  im Preßsaft wurde ein Wert von  $1375 \pm 53$  mg Cu/l ermittelt. Da die beiden Kurven für reine Cu-Lösung und gekupferten Preßsaft verschiedenen mathematischen Charakter haben, kann das Inaktivierungsverhältnis nicht in einer einzigen Zahl zum Ausdruck gebracht werden. Aus den gefundenen Zahlen für die



LD<sub>50</sub> kann aber abgeleitet werden, daß zur Abtötung von 50 % der Sporen im Preßsaft<sup>1)</sup> im Verhältnis zu reinen Lösungen etwa die 1000fache Kupfermenge benötigt wird.

Auch das Cu-Komplexon wurde in Sporenkeimtesten geprüft. Nach den Ausführungen von BIEDERMANN und MÜLLER (1952) hatte 0,006 % Cu in dieser Bindungsform keine Wirkung auf den Pilz. Eigene Versuche ergaben, daß 0,05 % Kupfer in reiner Cu-Komplexonlösung noch eine 85%ige Keimung zuläßt. In Übereinstimmung mit den genannten Autoren kann Cu-Komplexon als praktisch ungiftig angesehen werden. Auf eine Prüfung dieser Substanz in Pflanzenpreßsaft wurde daher verzichtet.

#### D. Diskussion der Ergebnisse

##### 1. Kupferwirkung auf Pflanzenwuchs und Ertrag

Die Ergebnisse des ersten Versuchsabschnittes zeigten, daß sich die Kupferdüngung hemmend auf die Staudenentwicklung auswirkt. Der Kupfereinfluß war besonders deutlich an einer Triebverkürzung zu erkennen, die man aber nicht als Ausdruck einer allgemeinen Entwicklungsbeeinträchtigung ansehen durfte. Denn eine nähere Untersuchung der Triebe in den Freilandversuchen ergab, daß die Pflanzen in den Kupferparzellen zwar niedriger waren, ontogenetisch betrachtet aber auf der gleichen Entwicklungsstufe standen wie die Kontrollpflanzen (gleiche Knotenzahl). Während ferner die Triebhöhe in allen Gefäß- und Freilandversuchen<sup>2)</sup> unter Kupfereinwirkung verringert wurde, war der Ertrag bei annähernd gleichen Aufwandsmengen in einigen Fällen erniedrigt, in anderen unverändert, in einem Fall sogar erhöht. Triebverkürzung, auch von STEENBERG (1940) und ERKAMA (1947) nach Kupferdüngung beobachtet, ist demnach kein Kriterium für einen Kupferschaden, zumal in den Freilandversuchen keine Kupferanreicherung in den Pflanzen stattfand. Die Veränderungen im Pflanzenwuchs (Triebverkürzung, Blüteverzögerung, längeres Grünbleiben) können dort nur auf Änderungen von Bodeneigenschaften und allgemeinen Ernährungsverhältnissen zurückgeführt werden<sup>3)</sup>. So z. B. spielt Kupfer nach WILLIS und PILAND (1936) für das Redoxpotential des Bodens eine wichtige Rolle. Es beeinflußt die Verfügbarkeit anderer Stoffe (Fe, Mn) und neutralisiert durch Oxydation Giftstoffe, die in mikrobiellen

<sup>1)</sup> Da zur Volumeneinheit Preßsaft die gleiche Volumeneinheit Sporensuspension + Cu-Lösung zugefügt wurde, müßte richtiger von „halbverdünntem“ Preßsaft gesprochen werden. Weil aber die Preßsaftkonzentration ohnehin je nach Wassersättigung Schwankungen unterworfen ist, wird auf diese Differenzierung verzichtet. Die Überlegung erlaubt aber, das ermittelte Verhältnis  $\frac{1000}{1}$  als eine Mindestgröße für den gegebenen Preßsaft aufzufassen.

<sup>2)</sup> Bis auf den Gefäßversuch 1953, in dem sich die Kupferdüngung überhaupt nicht auswirkte.

<sup>3)</sup> Sofern man nicht annehmen will, daß Kupferdüngung biochemische Umsetzungen in der Wurzel bewirkt, die ohne direkte Beteiligung des Kupfers zu den erwähnten Erscheinungen im Sproß führen.

Vorgängen freigesetzt werden (z. B.  $\text{Fe}^{++}$ ). Auch über die Wasserversorgung kann Kupfer viele Ernährungsvorgänge beeinflussen, da es nach ARNDT und SEGEBERG (1936) als koagulierendes Elektrolyt fungiert und die Benetzbarkeit von Humusteilchen erhöht. Je nach Bodenart wird sich Kupfer daher sehr verschiedenartig auswirken können. Das zeigten auch die Ertragszahlen aus dem Gefäßversuch 1954, wo Kupferung im Lehm Boden den Ertrag erhöhte, im Sandboden dagegen nicht. Auch Ertragserhöhungen nach Kupferdüngung brauchen durchaus nicht immer Ausdruck einer spezifischen Cu-Bedürftigkeit zu sein. Vielmehr sind, wie angedeutet, vielgestaltige indirekte Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung möglich.

Kalzium- und Zinkzusätze zeigten nicht die erwarteten Wirkungen. Sie wurden daher aus dem Rahmen der weiteren Betrachtungen herausgelassen.

## 2. Der chemotherapeutische Index des Kupfers für die innere Anwendung

### a) Die *dosis tolerata*

Bei Bestimmung der *dosis tolerata* in den Wasserkulturversuchen mußte berücksichtigt werden, daß die Cu-Empfindlichkeit von Wurzel und Sproß verschieden sein kann. Eine Schädigung der direkt mit der Kupferlösung in Berührung stehenden Wurzeln konnte unter Umständen schon zu einer Schädigung der Gesamtpflanze führen, bevor das Sproßgewebe seine volle Cu-Sättigung erreicht hatte. Die Definition der *dosis tolerata* für die innere Therapie verlangt aber eine Bestimmung der gerade noch verträglichen Cu-Konzentration im Gewebe selbst. Deshalb wurde die verträgliche Kupferhöchstkonzentration außerhalb und innerhalb der Pflanze bestimmt. Der ermittelte Schwellenwert von 60  $\mu\text{g}$  TS Blatt (bei Sulfaternährung) wird gestützt durch das in Abbildung 8 (S. 381) dargestellte Ergebnis eines Erdversuchs. Dort deutet der immer kleinere Abstand der Kurven bei höheren Kupfergaben darauf hin, daß durch weiter ansteigende Kupferversorgung die Aufnahme nur noch unwesentlich über den in diesem Versuch gefundenen Höchstwert von 57,2  $\mu\text{g}$  TS (s. Tab. 13) gesteigert werden kann.

Grundlegend für die Aufstellung des Schwellenwertes war die Cu:N-Relation der Pflanzenmasse. Innerhalb der gesunden Pflanze, auch erhöhten Cu-Gehaltes, war sie bei Blatt und Stengel gleich. Sie bestätigt somit die Vermutung ERKAMAS (1947) u. a., daß Kupfer in fester Bindung an Plasma vorliegt. Gekupferte Pflanzen, bei denen diese Relation in Blatt und Stengel nicht mehr übereinstimmte (bei Sulfatzufuhr  $> 60 \mu\text{g}$  TS Blatt bzw.  $> 1 \mu\text{g}$  Cu/mg N), konnten daher, auch wenn sie noch keine sichtbaren Schadsymptome zeigten, als vergiftet angesehen werden.

Wenn auch diese Erkenntnisse in Wasserkulturversuchen, also bei Kupferversorgung durch die Wurzel gewonnen wurden, so besagen die Beobachtungen SCHÄNDERS (1913) und anderer Autoren über die geringe Kupferverträglichkeit lebenden Gewebes sowie die eigenen Versuche über

Kupferaufnahme durch das Blatt und Weitertransport in der Pflanze, daß der gefundene Schwellenwert auch für die Aufnahme ionisierten Kupfers durch das Blatt angenommen werden darf. Von einer „Einschwemmung“ löslichen Kupfers durch das Blatt, die RECKENDORFER (1947) allgemein für möglich hält, kann wohl nur die Rede sein, wenn Kupfer nach Schädigung der Epidermiszellen in das Gewebe hineindiffundiert. Weitere Zellschädigungen werden nach DAXER (1939) und MÜLLER (1926) daraus folgen. Eine Depotbildung in der intakten Pflanze nach Kupferspritzungen scheint nicht möglich zu sein.

Im Cu-Komplexon dagegen erwies sich das Kupfer, vermutlich wegen seiner festen Bindung im Komplexmolekül (PFEIFFER und OFFERMANN 1942), für Pflanze wie Pilz weitgehend ungiftig. Es wäre daher sinnlos, Cu-Komplexon weiter unter dem Blickwinkel innertherapeutischer Anwendbarkeit zu betrachten.

Für Kupfersulfatnahrung ergibt sich nunmehr aus der Cu-Konzentration des Preßsaftes von Blättern mit dem maximalen Kupfergehalt (60  $\gamma$ /g TS) eine *dosis tolerata* von 5  $\gamma$  Cu/ml. (Genauer Analysenwert 4,86  $\gamma$ /ml.)

#### b) Die *dosis curativa*

Aus den in Kapitel IV und V geschilderten Versuchen ergibt sich, daß einerseits einer physiologischen Kupferaufnahme enge Grenzen gesetzt sind, anderseits maximale pflanzenverträgliche Kupfermengen nicht fungizid im Gewebe sind, so daß die Möglichkeit einer inneren Therapie mit Kupfer entfällt. Die weitere Anreicherung der Pflanzensubstanz mit Kupfer auf künstlichem Wege konnte daher nur noch von theoretischem Interesse sein, zumal bei unnatürlichen Versuchsverhältnissen auch mit unnatürlichen Reaktionen gerechnet werden mußte. Das gilt sowohl für die Versuche mit abgeschnittenen Blättern, die auf einen 40fachen Kupfergehalt gebracht werden konnten ohne Erhöhung der Widerstandskraft, wie im besonderen Maße für die Sporenkeimteste, bei denen der Pilz völlig außerhalb der Lebensprozesse der Pflanze nur mit dem Preßsaft in Berührung kam. Wenn auch die Sporenkeimteste eine quantitative Vorstellung von dem Inaktivierungspotential pflanzlicher Substanz ermöglichen, so stellen sich der Verwendung der gefundenen  $LD_{100}$  von 1650  $\gamma$  Cu/ml<sup>1)</sup> als d. c. große Vorbehalte entgegen:

1. Die *Phytophthora*-Resistenz der Kartoffel scheint weitgehend physiologisch-plasmatischer Natur und an die Lebenstätigkeit der Pflanze geknüpft zu sein (RUBIN und Mitarbeiter 1953 u. a.). Sporenkeimteste im Preßsaft oder Infektionsversuche an abgeschnittenen Blättern können daher die wahren Befallsverhältnisse an der normalen Pflanze nicht wiedergeben.
2. Entsprechend der Definition von MÜLLER (1926) muß die *dosis curativa* für die innere Therapie bei völliger Durchtränkung der Pflanze an dieser selbst ermittelt werden.

<sup>1)</sup> Errechnet aus Wirkungskurve im Preßsaft (S. 395).



3. Der gefundene Wert von 1650  $\gamma$  Cu/ml übersteigt bei weitem das Aufnahmevermögen der Pflanze (5  $\gamma$  Cu/ml).

Trotzdem entbehrt diese Größe nicht einer gewissen Berechtigung, wenn man in der d. c. nicht die kleinste curative Menge in der Pflanze sieht, sondern diejenige Kupferkonzentration des Preßsaftes, in der 100 % der Sporen gerade noch abgetötet werden. Der errechnete Indexwert von  $\frac{1650}{5} = 330$  besagt dann, daß die Pflanze weit über das vorkommende Maß hinaus Kupfer in fungizid unwirksamer Form zu binden vermag. Ein fungizides Kupferdepot in der Pflanze erscheint undenkbar, eine innertherapeutische Kupferanwendung damit aussichtslos.

### 3. Erklärungsmöglichkeiten für Befallserniedrigung nach Kupferdüngung

Die verschiedenen Auffassungen über die Natur der *Phytophthora* Resistenz lassen sich (HÄNNI 1949) in zwei Theorien zusammenfassen: Nach der einen bestimmt der Chemismus der lebenden Wirtszelle, nach der anderen das Mikroklima die Disposition des Wirtes. Beide ermöglichen es, Befallsrückgang nach Kupferdüngung als indirekte Kupferwirkung ausulegen.

Nach SCENT-GYÖRYI (1931), RUBIN und Mitarbeiter (1953) und manchen anderen Vertretern der ersten Theorie spielen kupferhaltige Fermente (z. B. Polyphenoloxidasen) im Resistenzgeschehen der Kartoffelpflanze eine wichtige Rolle, indem sie die Bildung von Abwehrstoffen katalysieren. Bei Kupferunterbilanz wäre eine Störung des natürlichen Resistenzmechanismus denkbar. Kupferzufuhr könnte sich dann in einer Erhöhung (besser Normalisierung) der Widerstandskraft auswirken.

Der Befallsrückgang in den eigenen Feldversuchen, bei denen kein Cu-Mangel anzunehmen war (normaler Kupfergehalt in Boden und Pflanzen), scheint dagegen auf Änderung von Wuchsform und Bestandsklima zu beruhen. Dafür spricht folgendes:

1. In den etwa 14 Tage eher geschlossenen Kontrollbeständen (S. 371) konnte sich die *Phytophthora* schneller ausbreiten.
2. Die Analyse der Gesamtbefallszahl (S. 378 f.) ergab, daß der Rückgang fast ausschließlich durch Verminderung der Fleckenzahl, einer vorwiegend vom Infektionsmilieu bestimmten Befallskomponente (GÄUMANN, 1951), bedingt war, während die vom Mikroklima weitgehend unabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit im Blatt (Fleckengröße) nicht beeinträchtigt wurde.
3. Nachdem etwa zwei Wochen das Großklima die Entwicklung der *Phytophthora* begünstigte, ließen sich bei der zweiten Bonitur (S. 379) nur noch geringe Befallsunterschiede feststellen.
4. Der Kupfergehalt der Pflanzen war in allen Gruppen gleich hoch.

## Zusammenfassung

Untersuchungen über das Wachstum von Kartoffelpflanzen nach Kupferdüngung (A), über ihre Kupferaufnahme (B) und über Infektions- und Inaktivierungsverhältnisse (C) brachten folgende Ergebnisse:

- A. 1. Kupferdüngung verzögert das Auflaufen, verkürzt die Triebe und läßt Freilandbestände bis zu drei Wochen später in Bestandesschluß kommen und entsprechend später absterben.
2. Bei Gaben bis zu 800 kg ha Kupfersulfat kann der Ertrag je nach Bodenart erhöht oder gemindert werden.
3. Da Triebverkürzung als „Sproßstauchung“ bei Ertragsanstieg und -abfall auftrat, bildet sie kein Diagnostikum für Kupferschaden.
4. In Freilandversuchen wirkte sich die Kupferdüngung nur im Behandlungsjahre aus. Sie erbrachte Befallsrückgang bei hohen Ertrags-einbußen, der auf Änderung von Pflanzenwuchs und Mikroklima zurückgeführt werden konnte. Auch andere Befallsminderungen nach Kupferdüngung ließen sich als Folge einer indirekten Kupferwirkung auslegen.
5. Da Kupferanreicherung nur in beschränktem Umfange stattfand und in Freilandversuchen ganz ausblieb, wird auf Beeinflussung von Bodeneigenschaften als Ursache der Änderungen im Pflanzenwuchs geschlossen.
- B. 1. Die Kupferaufnahme steigt im allgemeinen mit dem Angebot; bei jungen Pflanzen ist sie relativ am höchsten.
2. In der Kartoffelpflanze kommt Kupfer in fester Bindung an stickstoffhaltigen Substanzen vor. Auf 1 mg Stickstoff entfällt in der normal ernährten Pflanze  $\frac{1}{2}$   $\gamma$  Cu.
3. Bei Kupferdüngung in Form von Sulfat ergab sich für das Kupfer außerhalb der Pflanze eine Verträglichkeitsgrenze von 0,2 bis 0,5 mg/l Flüssigkeit, innerhalb der Pflanze eine solche von 1  $\gamma$  Cu/mg N, entsprechend etwa dem Doppelten des natürlichen Gehaltes. Bei Cu-Komplexon-Zufuhr verursachten 80 mg Cu/l in Nährlösung und das 25fache des normalen Kupfergehaltes in der Pflanze noch keinen Schaden.
4. Auch durch das Blatt scheinen keine größeren Mengen ionisierten Kupfers eindringen zu können.
- C. 1. Weder durch die Wurzel noch durch das Blatt aufgenommenes Kupfer wirkte im Pflanzeninnern fungizid.
2. An abgeschnittenen Blättern, die durch Einstellen in Kupferlösung bis auf einen 40fachen Kupfergehalt gebracht worden waren, zeigte sich keine Befallseinschränkung.
3. Im Blattpreßsaft lag die LD<sub>50</sub> mit 1375  $\gamma$  Cu/ml um drei Zehnerpotenzen höher als in reiner Kupferlösung.

Für die innere Anwendung des Kupfers liegt die dosis curativa um mehr als zwei Zehnerpotenzen über der dosis tolerata; infolgedessen läßt sich kein fungizides Kupferdepot in der Pflanze erzielen.

Innertherapeutische Kupferanwendung zur direkten Pilzbekämpfung ist zwecklos. Über die Beseitigung von Kupfermangel hinaus ist daher Kupferdüngung nicht gerechtfertigt.

### Literaturverzeichnis

- ABERDEEN, J. E., 1952: Investigations on the phytotoxicity of Bordeaux mixture to tomatoes. *J. agric. Sci.* **9**, 1—40.
- ADERHOLD, R., 1903: Der heutige Stand unserer Kenntnisse über die Wirkung und Verwertung der Bordeauxbrühe als Pflanzenschutzmittel. *Jber. Angew. Bot.* **1**, 12—36.
- ARND, T. und SEGEBERG, H., 1936: Über das  $H_2O$ -Bindungsvermögen des Torfes und dessen Zusammenhang mit den sogenannten Bodenkrankheiten. *Z. Pflanzenernährg., Düngg., Bodenkde.* **43**, 134—142.
- BARKER, B. T. P. and GIMINGHAM, C. T., 1914: The action of Bordeaux mixture on plants. *Ann. appl. Biol.* **1**, 9—21.
- BARTH, M., 1896: Die Blattfallkrankheit der Rebe und ihre Bekämpfung. 4. Aufl. Gebweiler.
- BERGMAN, H. F. and TRURAN, W. E., 1932: The Effect of Copper residues from Bordeaux Spray on the Growth of Canberry Vines. *Mass. Agr. Exp. Stat. Ann. Rep. Bul.* **293**, 61 f.
- BIEDERMANN, W. und MÜLLER, E., 1952: Die Inaktivierung des gelösten Kupfers (II) in Fungiziden. *Phytopath. Z.* **18**, 307—338.
- BLUMER, S. und KUNDERT, J., 1951: Methoden der biologischen Laborprüfung von Kupferpräparaten. *Phytopath. Z.* **17**, 161—199.
- BRAUN, H. und RIEHM, E., 1950: Krankheiten und Schädlinge der Kulturpflanzen und ihre Bekämpfung. Berlin.
- BUCHNER, A., 1952: Zur Spurenelemente-Bilanz unserer Böden. *Mittlg. DLG* **17**, 275—277.
- COOK, F. C., 1921: Absorption of copper from the soil by potato plants. *J. agr. Res.* **22**, 281—287.
- DAWSON, J. E. and NAIR, C. K., 1949: Copper amalgam electrode. III. Cupric ions activities in plants. *Abstr. 41st Meet. Americ. Soc. Agron. a. Soil Sci. Soc. Amer.* p. 68.
- DAXER, H., 1939: Versuche über die Wirkung des Kupfers auf Blättern. *Z. Pflanzenkrankh. u. -schutz* **49**, 225—251.
- DIXON, W. S. and MOOD, A. M., 1946: The statistical sign test. *J. Amer. Stat. Assoc.* **41**, 557—566.
- ERKAMA, J., 1947: Über die Rolle von Kupfer und Mangan im Leben der höheren Pflanze. *Ann. Acad. Sci. Fenn., A II*, **25**, 1—105.
- ESSWEIN, A. und SCHWARZ, W., 1939: Untersuchungen über die Wirkung des Kupfers auf die Mikroorganismen des Bodens und über die Aufnahme von Kupfer durch die höhere Pflanze. *Zbl. Bakt.* **100**, 99—110.
- EWERT, R., 1905: Der wechselseitige Einfluß des Lichtes und der Kupferkalkbrühe auf den Stoffwechsel der Pflanze. *Landw. Jb.* **34**, 233—310.
- FINNEY, D. J., 1952: *Probit Analysis*. Cambridge.
- FATTINGER, D., 1950: Die Beeinflussung der fungiziden Wirksamkeit des Kupferions durch andere Ionen. *Pflanzenschutzberichte Wien* **4**, 33—46.
- FAWCETT, C. H., 1951: Thesis, University of London. *Zit. in WAIN, R. L., Ann. appl. Mycol.* **39**, 429—432, 1952.
- FORBES, R. H., 1917: Certain effects under irrigation of copper compounds on crops. *Univ. of Calif. Publ. Agr. Sci.* **1**, 395—494.



- FORSTER, A. W., 1954: Toxic effects of heavy metals on crop plants grown in soil culture. *Ann. appl. Biol.* **41**, 637—651.
- GASSNER, G. und GRIMM, H., 1952: Über die Wirkung von Kupferkalkspritzungen auf Ertrag und Stärkegehalt der Kartoffel. *Angew. Bot.* **26**, 60—68.
- GÄUMANN, E., 1951: Pflanzliche Infektionslehre. Basel.
- — und NAEF-ROTH, St., 1954: Über die chelierende Wirkung einiger Welketoxine I. *Phytopath. Z.* **21**, 349—366.
- GIRARD, A., 1895: Sur l'accumulation dans le sol des composés cuivriques employés pour combattre les maladies parasitaires des plantes. *C. R. Acad. Sci.* **120**, 1147—1152.
- GOLDSWORTHY, M. C. and GREEN, E. L., 1938: Effect of copper on germination and growth of conidia. *J. agr. Res.* **56**, 489—505.
- HÄNNI, H., 1949: Beitrag zur Biologie und Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule, verursacht durch *Phytophthora infestans*. *Phytopath. Z.* **15**, 209—332.
- HASELHOFF, E., 1892: Über die schädigende Wirkung von Kupfersulfat und  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ -haltigem Wasser auf Boden und Pflanze. *Landw. Jb.* **21**, 263 f.
- HECKEL, E., 1899: Copper in plants. *Bull. Soc. Bot.* **46**, 42.
- HEILIG, H., 1933: Einfluß verschiedener Spritzmittel auf die Assimilation bespritzter Reben und auf die Lichtabsorption. *Weinbau u. Kellerwft.* **12**, 85—87 u. 97—99.
- HEUBERGER, J. W., and HORSFALL, J. G., 1942: Reduction in fungicidal value of copper compounds by organic materials. *Phytopathology* **32**, 370—378.
- HILTNER, L., 1909: Über die Beeinflussung des Wachstums der Pflanzen durch deren Bespritzung oder Bestäubung mit giftigen oder düngenden Stoffen. *Prakt. Bl. Pflanzenbau u. -schutz* **7**, 65—69.
- HOLLRUNG, M., 1923: Die Mittel zur Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten. Berlin.
- HORSFALL, J. G., and TURNER, N., 1943: Injurness of Bordeaux mixture. *Americ. Potato J.* **20**, 308—320.
- JOHNSON, G. F., 1935: The early History of copper fungicides. *Agr. Hist.* **9**, 67—79.
- KAHANE, E., 1938: Über Unfälle bei der Zerstörung organischer und biologischer Substanzen durch Überchlorsäure. *Z. anal. Chem.* **111**, 14—17.
- KLUMPP, E., 1951: Spurenelemente im Kartoffelbau. *Kartoffelbau* **2**, 11.
- —, 1952: Sind Spurenelemente keine Nährstoffe? *Kartoffelbau* **3**, 10—11.
- —, 1954: Die Spurenelemente, Stand und Ausblick. *Kartoffelbau* **5**, 8.
- KNORR, P., 1922: Versuchsergebnisse auf dem Gesamtgebiet des Kartoffelbaus. *Arb. Forsch.-Inst. Kartoffelbau*. Berlin.
- KOPETZ, L. M. und STEINECK, O., 1949: Vergleichende Versuche zur voreiligen Pflanzgutbestimmung von Kartoffeln. *Bodenkultur* **4**, 487—505.
- KOTTE, W., 1924: Laboratoriumsversuche zur Chemotherapie der Peronosporakrankheit. *Zbl. Bakt. II*, **61**, 367—378.
- KRÜGER, E., 1943: Untersuchungen über den Einfluß von Elektrolyten und Nichtelektrolyten auf die Sporangienkeimung und Differenzierung der Zoosporen bei *Phytophthora infestans*. *Arb. Biol. Reichsanst.* **23**, 51—95.
- LAURENT, E., 1902: De l'action interne du sulphate de cuivre dans la résistance de la pomme de terre au *Phytophthora infestans*. *C. R. Acad. Sci.* **135**, 1040—1042.
- LINDER, A., 1951: Statistische Methoden. Basel.
- LINSTOW, O. v., 1929: Bodenanzeigende Pflanzen. Berlin.
- MARCHAL, E., 1902: De l'immunisation de la laitue contre le meunier. *C. R. Acad. Sci.* **135**, 1067—1068.
- MARSH, P. B., 1945: Salts as antidotes to copper in its toxicity to the conidia of *Sclerotinia fructicola*. *Phytopathology* **35**, 54—61.
- MARSH, R. W., 1938: Some applications of laboratory tests to the evaluation of fungicides. *Ann. appl. Biol.* **25**, 583—604.
- MARSTON, H. R., 1952: Copper Cobalt and Molybdenum in the nutrition of animals and plants. *Physiol. Rev.* **32**, 66—121.
- MARTIN, H., WAIN, R. L. and WILKINSON, E. H., 1942: Studies upon the copper fungicides. V. A critical examination of the fungicidal value of copper compounds. *Ann. appl. Biol.* **29**, 412—438.

- McCALLAN, S. E. A., WELLMANN, R. H. and WILCOXON, F., 1941: An analysis of factors causing variation in spore germination tests of fungicides. III. Slope of toxicity curves, replicate tests and fungi. Contr. Boyce Thomps. Inst. **12**, 49—78.
- MILLARDET, A., 1885: Sur le Traitement du mildiou et du rot. C. R. Acad. Sci. **101**, 657—659.
- — et GAYON, U., 1887: Recherches nouvelles sur l'action que les préparations cuivreuses exercent sur la *peronospora* de la vigne. J. Agric. prat. **22**, 192—193.
- MÜLLER, A., 1926: Die innere Therapie der Pflanze. Berlin.
- NYDAHL, F., 1939: Die Bestimmung des Kupfers im Rauhfutter nach der Diäthylthiocarbamat-Methode. Z. anal. Chem. **116**, 315—328.
- DE ONG, E. R., 1934: The use of oil-soluble copper as a fungicide. Phytopathology **24**, 1146.
- OTTO, R., 1893: Untersuchungen über das Verhalten der Pflanzenwurzeln gegen Kupfersalzlösungen. Z. Pflanzenkrankh. u. -schutz **3**, 322—334.
- PACK, M. R., TOTH, S. J. and BEAR, F. E., 1953: Copper status of New Jersey soils. Soil Science **75**, 433—442.
- PFEIFFER, P. und OFFERMANN, W., 1942: Calcium- und Kupferkomplexsalze von Trilon A und B. Ber. dt. chem. Ges. **75**, **1 B**, 1—12.
- PICHI, P., 1891: Alcuni esperimenti fisiopatologici sulla vite in relazione al parassitismo della peronospora. Nuovo G. bot. ital. **23**, 361—366.
- PIPER, C. S., 1942: Investigations on copper deficiency in plants. J. agric. Science **31**, 143—178.
- PRILLEUX, E., 1888: Expériences sur le traitement de la maladie de la pomme de terre. C. R. Acad. Sci. **107**, 447—448.
- RADEMACHER, B., 1932: Praktische Möglichkeiten zur Verhütung und Bekämpfung der Urbarmachungskrankheit. Fortschr. Landw. **7**, 457—461.
- —, 1936: Die Heidmoorkrankheit unter besonderer Berücksichtigung der Kupferfrage. Arb. Biol. Reichsanst. **21**, 531—603.
- —, 1940: Über die Veränderungen des Kupfergehaltes, den Verlauf der Kupferaufnahme und den Kupferentzug beim Hafer. Bodenkde. u. Pflernähr. **19**, 80—107.
- RAUTERBERG, E. und KREMKUS, F., 1951: Bestimmung von Gesamthumus und alkalilöslichen Humusstoffen im Boden. Z. Pflanzenernähr., Düngg., Bodenkde. **54**, 240—249.
- RECKENDORFER, P., 1947: Immunisierung als Folge von Schädlingsbekämpfung. Ein mikrochemischer Beitrag zur Kenntnis des eingeschwemmten Kupfers. Pflanzenschutzberichte Wien **1**, 65—81.
- REUTHER, W., SMITH, P. F. and SPECHT, A. W., 1952: Accumulation of the major bases and heavy metals in Florida citrus soils in relation to phosphate fertilisation. Soil Science **73**, 375—381.
- RICHTER, A., 1901: Zur Frage der chemischen Reizmittel. Zbl. Bakt. **7**, 417—429.
- RUBIN, B. A. und ARCICHOWSKAJA, E. W., 1953: Biochemische Charakteristik der Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber Mikroorganismen. Berlin.
- RUHLAND, W., 1905: Zur Kenntnis der Wirkung des unlöslichen basischen Kupfers auf Pflanzen mit Rücksicht auf die sogenannte Bordeauxbrühe. Arb. Biol. Reichsanst. **4**, 157—200.
- SCENT-GYÖRYI, A. V., und VIETORIS, K., 1931: Bemerkungen über die Funktion und Bedeutung der Polyphenoloxydase der Kartoffel. Biochem. Z. **233**, 236—239.
- SCHANDER, R., 1904: Über die physiologische Wirkung der Kupferkalkbrühe. Landw. Jb. **33**, 517—584.
- —, 1913: Mittlg. Weinbau u. Kellerwirtsch. **118**. Zit. nach HOLLRUNG a. a. O. S. 216.
- SCHARRER, K., 1955: Biochemie der Spurenelemente. Berlin.
- — und SCHROPP, W., 1933: Sand- und Wasserkulturversuche über die Wirkung des Kupferions. Z. Pflanzenernähr., Düngg., Bodenkde. **32**, 184—200.
- SCHROPP, W., 1951: Der Vegetationsversuch. Methodenbuch VIII. Berlin.
- SCHUPHAN, W., 1953: Analysen in der Stickstoffgruppe. In: Methodenbuch IV. Berlin.
- SEMICHON, L., 1916: The action of copper sulphate on downy mildew. C. R. Acad. Agric. France **2**, 372—384.

- SIMON, J., 1910: Über die Einwirkung eines verschiedenen Kupfergehaltes im Boden auf das Wachstum der Pflanze. Landw. Versuchsstat. **71**, 417—431.
- SKAPTASON, S. B. and BLODGETT, F. M., 1941: Reduced toxicity of cuprous oxide to *Phytophthora infestans* by addition of certain insecticides. Amer. Potato J. **18**, 179—180.
- —, — — and PETERSON, L. C., 1940: The copper content of Long Island soils in relation to tuber rot of potatoes caused by *Phytophthora infestans*. Amer. potato J. **17**, 88—92.
- SMITH, C. B., 1951: The nutrient-element balance of the tomato and its susceptibility to *Phytophthora infestans* as affected by two levels of zinc. Plant Physiol. **26**, 737—749.
- SNEDECOR, G. W., 1946: Statistical methods. Iowa State Coll. Press.
- STEENBERG, F., 1940: Kobber i Jord og Kulturplanter. T. Planteavl **45**, 259—368.
- STOLZE, E., 1936: Über die Bestimmung kleinster Mengen Kupfer, vornehmlich in Pflanzen. Bodenkde. u. Pflernährg. **1**, 115—132.
- STRACHOW, T. D., 1953: Der pathologische Prozeß bei Pflanzen und die Degeneration der Kornbranderreger. I. Der pathologische Prozeß und die Milieufaktoren. Mikrobiologija **21**, 705—710. Ref. in: Ber. wiss. Biol. **21**, 223.
- SCHUMACHER, W., 1954, in: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Stuttgart.
- TSCHIRSCH, A., 1893: Das Kupfer. Stuttgart.
- VIALA, P., 1894: De l'action de certaines substances toxiques sur la vigne. Rev. de viticult. 3—5. Ref. in Z. Pflanzenkrankh. u. -schutz **5**, 224, 1895.
- WILLIS, L. G. and PILAND, J. H., 1936: The function of copper in soils and its relation to the availability of iron and manganese. J. agr. Res. **52**, 467—476.
- ZITZEWITZ, A. v., 1950: Krautfäulebetrachtung. Kartoffelbau **2**, 96—98, 1951.



# Sind Narbe und Griffel Eintrittsporten für Pilzinfektionen?

Von

J. JUNG

Mit 14 Abbildungen

**Inhalt:** Einleitung. — A. Infektionsversuche an Blüten. 1. Literatur. 2. Material und Methodik der eigenen Untersuchungen. a) Infektionsversuche; b) Prüfung des Infektionserfolges. 3. Infektionen mit unspezialisierten Pilzen. 4. Infektionen mit spezialisierten Pilzen. 5. Die Veränderung äußerer und innerer Faktoren der Wirtspflanzen und deren Bezug auf das Pilzwachstum. a) Variierung der Außenfaktoren (Temperatur, Feuchtigkeit, Licht); b) Variierung der inneren Faktoren;  $\alpha$ ) Alter der Versuchspflanzen und der Blüten;  $\beta$ ) Einfluß von Verwundungen. — B. Die pflanzliche Resistenz. 1. Begriffsbestimmung und Literatur. 2. Charakterisierung der Hemmwirkung als Hemmstoffwirkung. a) Methodik der Hemmstoffuntersuchungen; b) Ergebnisse der Testversuche; c) Eigenschaften des Hemmstoffes. 3. Die Wirkung des Griffelextraktes auf das Pollenschlauchwachstum. — C. Diskussion der Ergebnisse. — Zusammenfassung. — Literaturverzeichnis.

## Einleitung

In seiner „Pflanzlichen Infektionslehre“ unterscheidet GÄUMANN (1951) natürliche und künstliche Infektionswege. Unter künstlichen versteht er die Infektionen durch Wunden, als natürliche die intakte Körperhaut, die Körperöffnungen, wie z. B. Spaltöffnungen, Lentizellen und die privilegierten Organe, wie Wurzelhaare und Narben.

Das Forstbotanische Institut München, das auf anatomischem Gebiet reiche Erfahrung besitzt, hat es sich zur Aufgabe gemacht, einige dieser Infektionswege näher zu untersuchen. Auf eine Arbeit R. SCHMIDS (1953) über die Beziehungen einiger Rindenpilze zum Phloem (Ausbeutung des laufenden Assimilatstromes) folgte die von WOESTE (1954) über die Infektionswege einiger Wurzelpilze. Mir wurde im Rahmen dieses Programms die Aufgabe zuteil, die Frage der Infektion über die Narben näher zu untersuchen. Die wenigen im bisherigen Schrifttum immer wieder erwähnten Fälle (s. unten) lassen nämlich nicht erkennen, ob die Infektion über die Narben ein Privileg weniger Spezialisten oder ein allgemein verbreitetes Prinzip darstellt.

Für die Überlassung des Themas und die stete Förderung der Arbeit möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. B. HUBER, herzlich danken. Darüber hinaus

bin ich Herrn Professor Dr. K. MÄGDEFRAU zu großem Dank verpflichtet, der mir bereitwillig Pflanzenmaterial und einen Arbeitsplatz im Botanischen Garten in München zur Verfügung stellte. Herrn Professor Dr. W. HOLDHEIDE und Herrn Privatdozenten Dr. H. ZIEGLER verdanke ich viele wertvolle Hinweise. Für die Photoarbeiten danke ich Fräulein A. JOHN und Herrn Oberpräparator J. HEY.

## A. Infektionsversuche an Blüten

### 1. Literatur

In seinem Buch „Pflanzliche Infektionslehre“ widmet GÄUMANN den Blüteninfektionen einen eigenen Abschnitt und sagt u. a.: „Bei den Blüteninfektionen bieten vor allem die Narben durch ihre Sekrete und ihre besondere Struktur den parasitischen Mikroorganismen ein günstiges Keimungssubstrat und Leitgewebe“. Es wäre in der Tat einleuchtend, daß das lockere Griffelgewebe wie für den Pollen, so auch für pilzliche Parasiten passierbar sei. In der weiteren Ausführung verweist GÄUMANN auf die Narbeninfektionen bei den Obstbaumsklerotinien, „welche eine bekannte Blüten- und Zweigdürre und den ‚Polsterschimmel‘ der betreffenden Früchte verursachen, so *Sclerotinia cinerea* Schroet. (syn. *Monilia cinerea* Bon.) und *Sclerotinia laxa*, Ad. et Ruhl. auf verschiedenen Steinobstarten und *Sclerotinia Linhartiana* Prill. et Delacr. auf Quitten. Die Konidien keimen, wie die Pollenkörner, auf den Narbenpapillen und lassen ihren Keimschlauch gleich dem Pollenschlauch durch den Griffel in den Fruchtknoten dringen; von hier aus zerstören die Hyphen die ganze Blüte und wachsen dann durch den Blütenstiel in den Zweig hinunter, wo sie nach drei bis vier Wochen ein plötzliches Welken des ganzen Zweiges samt den Blättern hervorrufen. Denselben Infektionsweg benutzt offenbar *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. = *Fusarium herbarum* (Cda.), der Erreger einer Kernhausfäule (Herzfäule) unserer Lageräpfel. Die Konidien werden wahrscheinlich von den Narben aufgefangen; ihre Hyphen durchwachsen den Griffel, wuchern bei Sorten, deren Kelchröhre nicht dicht schließt (z. B. Danziger Kant, Goldparmäne, Boskoop), in den Fruchtknoten hinunter und verursachen dort eine Kernhausfäule. Unter ungünstigen Lagerungsbedingungen können sie auf das benachbarte Fruchtfleisch übergreifen und dort eine charakteristische braune Fruchtfäule einleiten. Neben den legalen Infektionen durch die Narben können bei diesen sämtlichen Pilzen auch kleine Verletzungen, Frostschäden der Knospen usw. als Eingangspforte dienen; ferner können Spätinfektionen der Früchte direkt durch die Lentizellen erfolgen. Die Narben stellen somit nur den bevorzugten, nicht den ausschließlichen Infektionsweg dar; sie sind bloß der locus minoris resistentiae.“ Außerdem können die Blüteninfektionen nach GÄUMANN auch durch die Nektarien erfolgen, da diese von keiner kutinisierten Schicht bedeckt sind und mit ihrem süßen Sekret ebenfalls einen günstigen Nährboden für die Mikroorganismen bilden. Seine Ausführungen über die Blüteninfektionen schließt GÄUMANN mit dem Hinweis: „Der Befall durch die Blüten, also

durch die Fortpflanzungsorgane, ist nicht der einzig mögliche, sondern nur der bevorzugte bzw. der wirkungsvollste Infektionsweg.“ Die Blütennarbe erscheint also in den Ausführungen GÄUMANNs als eine allgemeine Eintrittspforte für Mikroorganismen.

Alle experimentellen Bearbeitungen, die das Problem der Blüteninfektion erfahrung hat, beschäftigen sich ausschließlich mit bestimmten, für die landwirtschaftliche Praxis wichtigen Pilzinfektionen der Blütennarben.

So fand ZIMMERMANN (1927), daß sogar in ihrer Wirtswahl nicht spezialisierte *Sclerotinia*- und *Botrytis*-Arten von den Narben her in die Blüten eindringen. ZIMMERMANN meint, daß das Vordringen des Pilzes von der Narbe aus durch die darauf befindlichen Sekrete erleichtert würde, welche den Parasiten ernähren. Außerdem betrachtet auch er die Narbe als eine natürliche Eintrittspforte für Parasiten, weil diese hier ohne Durchbohrung einer Kutikula in das Innere der Pflanze kommen können.

APPEL (1920) nimmt an, daß das Zweigsterben damit beginnt, daß nach der Öffnung der Blüten im Frühjahr die Narben vom Pilz befallen werden und dann unter Bräunung absterben. Von hier aus dringt der Pilz rasch weiter und tötet die ganze Blüte. APPEL sagt: „Dieser ganze Vorgang verläuft sehr rasch, so daß häufig die Annahme entsteht, die Blüten seien durch Frost beschädigt. Die Blumenblättchen, die zuerst schlaff herabhängen, trocknen rasch ein, fallen aber nicht ab, sondern vertrocknen und verschrumpfen, ebenso wie auch die Blütenstiele, und bleiben bis in den Herbst hinein, häufig sogar den Winter hindurch, an den Bäumen hängen, so daß man während des ganzen Jahres die Krankheit erkennen kann.“ APPEL räumt allerdings ein, daß die durch Witterungseinflüsse entstehenden kleinen Risse der Fruchtschale sowie die Pilzflecken des Schorfes als Eintrittspforte dienen können.

Nach M. SCHMIDT (1938) sind zu den *Monilia*-Infektionen nur streng spezialisierte Pilzarten geeignet, die charakteristische Blüten-, Blatt- und Zweigdürre kann durch künstliche Infektion mit Konidien von *Sclerotinia cinerea* an Kirschen hervorgerufen werden, und zwar sowohl auf dem Weg durch den Griffel, als auch über Zweigwunden. SCHMIDT sagt, daß bei Infektionen durch Ritzwunden an den Zweigen die Blattwelke stets nach der Triebspitze zu fortschreitet, und daß niemals unterhalb der Infektionsstelle Welkeerscheinungen auftreten. Das Wachstum des Pilzmyzels (oder der Transport der Welketoxine) erfolgt also bei dieser Art der Infektion streng akropetal, während es bei der Infektion durch die Blüte eine basipetale Tendenz hat.

Nach WORMALD (1919/20) findet sich an Pflaumen eine *Monilia cinerea* f. *pruni*, die Fruchtfäule und Zweigkrebs verursacht, während *Monilia cinerea* f. *mali* an Apfelbäumen Blütenwelke und Zweigkrebs hervorruft.

KILLIAN (1921) andererseits fand zwei Formen von *Monilia cinerea* an Kirschen: *Monilia cinerea avium* findet sich besonders auf Süßkirschen und befällt dort Blüten und Früchte, ohne die Zweige zum Absterben zu bringen. *Monilia cinerea cerasi* hingegen tötet Blüten und Zweige von Sauerkirschen. Es bestätigen also die Untersuchungen von WORMALD und KILLIAN die Art-, ja Rassespezifität der pilzlichen Parasiten.

Ausführliche Untersuchungen wurden vor allem von MITTMANN (1938 und 1940) durchgeführt. Die Verfasserin versuchte künstliche Blüteninfektionen an Obstbäumen zu erzeugen. Sie verwendete dazu Pilzstämmen verschiedenster Herkunft von *Monilia cinerea* und *Monilia fructigena*. Die Arbeit enthält eine Zusammenstellung der in der Literatur zahlreich vorhandenen Widersprüche bezüglich der Angaben über die strenge Spezialisierung dieser beiden verwendeten *Monilia*arten. Die eigenen Versuche führten MITTMANN zu der Ansicht, daß es die einzelnen Verfasser wohl mit verschiedenen physiologischen Rassen ein und derselben Art zu tun haben mußten, wobei jede dieser Pilzrassen selbst wahrscheinlich wiederum nur auf ganz bestimmte Rassen von Obstbäumen spezialisiert ist. Durch die Veröffentlichungen von WORMALD und KILLIAN wird die Verfasserin in dieser Ansicht noch bestärkt. Bei den 150 von MITTMANN zur Infektion verwendeten Reinkulturen gelang es nur mit drei Stämmen von *Monilia cinerea* und einem Stamm von *Monilia fructigena* Blüteninfektionen



bei Kirschen experimentell zu erzeugen. Ebenso war es an anderen Obstarten nur mit wenigen bestimmten Pilzrassen möglich, Infektionen hervorzurufen.

Schließlich schreibt MAIER in seiner Arbeit über „Ausmaß, Ursache und Verhütung der Moniliafäule bei Aprikosen“, daß er zwei Stellen als Ausgangspunkt für die *Monilia*-Fäulnis gefunden habe. Wörtlich steht dort: „Häufig bildeten Risse in der Schale an einer Seite der Frucht Eintrittspforten für den Pilz. Diese Risse waren einzeln oder zu mehreren durch Aufspringen der Schale entstanden, entweder punktförmig oder bis zu mehreren Zentimetern lang. Bei anderen Früchten war die Infektion durch einen Spalt erfolgt, der sich an der Spitze der Frucht im Fruchtfleisch gebildet hatte. Dieser Spalt verlief von der Spitze der Frucht aus in der Furche auf der Bauchseite oder dorsalwärts in Verlängerung der Furche. Häufig war der Spalt von der Spitze aus nach beiden Seiten ausgebildet. Die Länge des Spalts wechselte von kaum sichtbarer Größe bis zu mehreren Zentimetern. In diesem klaffenden Spalt, der oft tief ins Fruchtfleisch reichte, hatte ein großer Teil der Infektionen seinen Ausgang genommen.“ Und außerdem: „Um den Anteil der verschiedenen Wundstellen am Zustandekommen der verschiedenen *Monilia*-Fruchtfäulen festzustellen, wurden annähernd 500 faule Früchte daraufhin untersucht, an welcher Stelle die Infektion erfolgt war. Diese Feststellung läßt sich in den allermeisten Fällen mit größter Sicherheit treffen, da das Myzel von der Infektionsstelle aus regelmäßig radial weiterwächst und diese deshalb im Mittelpunkt des dabei entstehenden, kreisförmig begrenzten Faulflecks zu liegen kommt.“ MAIER stellt in einer Tabelle die Untersuchungen über die Infektionsstellen für *Monilia fructigena* und *Monilia cinerea* bei Aprikosenfrüchten zusammen und zeigt, „daß mindestens rund 98% aller von *Monilia* befallenen Früchte durch den Spalt an der Spitze oder durch seitliche Risse infiziert worden sind und keine einzige Frucht gefunden werden konnte, bei der die Infektion auf eine andere Weise erfolgt war“.

## 2. Material und Methodik der eigenen Untersuchungen

### a) Infektionsversuche

Zum Unterschied von den meisten der genannten Autoren beschäftigte mich nicht eine bestimmte, praktisch wichtige Krankheit, sondern das allgemeine Problem der Narbe als Infektionsweg. Ich prüfte daher einerseits Blüten der verschiedensten Griffellänge von 61 Arten aus 20 Familien der Angiospermen und andererseits 32 Pilzstämme aus allen Pilzklassen.

Bei sämtlichen Versuchen wurde das Pilzmaterial Reinkulturen entnommen. Diese verdanke ich Abimpfungen von Frau Professor Dr. A. NIETHAMMER, Korntal, von Frau Professor Dr. J. WESTERDIJK, Baarn (Holland), dem Botanischen Institut der Universität München und der Süddeutschen Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft in Weißenstephan. Ein Großteil des Infektionsmaterials stammt aus selbstisolierten Reinkulturen.

Um eine möglichst große Übersicht über die verschiedenen Infektionsmöglichkeiten zu bekommen, war ich bei allen Versuchen darauf bedacht, zur Infektion von nicht speziellen Wirtspflanzen stets nur Saprophyten bzw. fakultative Parasiten zu verwenden. Zur Infektion der nach Literaturangaben als spezielle Wirte bekannten Pflanzen wurden jedoch stets obligate Parasiten benützt.

In den meisten Kulturen standen reichlich Konidien für die Infektion zur Verfügung. In einigen Fällen benützte ich verschiedene andere Sporenarten, vor allem Chlamydosporen, die wie Konidien in Was-

ser allein oder in Wasser mit Zusatz von Agar-Agar, Gelatine, Malzextrakt oder Zucker leicht keimen. Es ließ sich manchmal nicht vermeiden, daß auch Myzelstückchen in das Infektionsmaterial gelangten. Daneben verwendete ich für die Infektionsversuche auch Konidien, die ich direkt von im Freien an Obstmumien gefundenen Pusteln abimpfte.

Das Pilzmaterial vermischte ich in einem kleinen Zylinderglas mit gelatinehaltigem Wasser, um ein Festhaften der Pilzsporen an Blüten auch nach dem Verdunsten des Wassers zu erreichen. Die Aufschwemmungen wurden nach ihrer Herstellung sofort mit einem Pinsel auf die Narben gestrichen. In jedem Falle habe ich zugleich Sporenmaterial in Petrischalen übergeimpft, um mich von der tatsächlich vorhandenen Keimfähigkeit des Infektionsmaterials zu überzeugen. Um Fremdinfectionen vorzubeugen und den Sporen oder Konidien die zur Keimung optimale Feuchtigkeit zu erhalten, wurden die Blüten stets mit Zellophan- oder Frischhaltebeuteln umhüllt.

### b) Prüfung des Infektionserfolges

Der Infektionserfolg wurde in jedem Falle mikroskopisch geprüft. Der makroskopische Befund erwies sich für die Beurteilung in keinem Falle als ausreichend, obschon sich gewisse Unterschiede im Verlauf der Postflorationsvorgänge zwischen infizierten und nichtinfizierten Blüten ergaben (Näheres n. S.).

Die von R. SCHMID (1953) und WOESTE (1954) verwendeten Fixierungsmethoden (Fixierung in Formol oder BOUINS Fixierungsgemisch) erwiesen sich für die anatomische Untersuchung des Narben- und Griffelgewebes als unbrauchbar. Die zarten Objekte werden dabei zu hart und zerbrechen. Es mußte deswegen eine Fixierungsflüssigkeit angewendet werden, die sehr rasch eindringt und die labilen Strukturen in einem möglichst natürlichen Zustand erhält. Dieser Forderung kam die Fixierung nach GILSON (Sublimat-Alkohol-Salpetersäure-Eisessig) am nächsten (ROMEIS 1948).

Am besten bewährte sich in jedem Falle das Schneiden lebensfrischer Objekte.

Auch die Einbettung in Zelloidin nach KISSER (1939) oder in Paraffin nach ROMEIS (1948) hat sich für unsere Zwecke nicht bewährt. Bei Anwendung der ersten Methode wurden die Objekte brüchig, in Paraffin schrumpften sie sehr stark. Es wurde deswegen von einer Einbettung überhaupt abgesehen und 10 bis 15  $\mu$  dicke Schnitte mit einem Kohlensäure-Gefrieremikrotom (REICHERT, Wien) hergestellt.

Die Färbung nach CARTWRIGHT, wie sie SCHMID (1953) und WOESTE (1954) mit Erfolg durchgeführt haben, war für meine Objekte ungeeignet. Durch die Doppelfärbung mit wässriger Safraninlösung und einem Pikrinsäure-Anilinblau-Gemisch entstehen vollkommen verschwommene Bilder. Weder in der Literatur noch durch zahlreiche eigene Versuche konnte ich eine Färbemethode finden, die wirklich nur den Pilz differenziert anfärbt. Ich führte die von LANG angegebene HEIDENHAINsche Hämatoxylinfärbung nach ROMEIS (1948) und die Färbung mit Baumwollblau nach HOLZ (1936) aus, ohne jedoch zufriedenstellende Ergebnisse zu erhalten. Dabei färbte sich meist das ganze parenchymatische Gewebe gleichmäßig mit dem jeweiligen Farbstoff, ohne die Pilzhyphen deutlich zu differenzieren. Den relativ besten Erfolg zeigte eine Färbung mit Orseillin BB, wie sie MARCUS (1951) beschreibt. Man bringt dazu die Schnitte in eine Lösung von Orseillin BB, die 0,25 g des Farbstoffes in 100 ccm 3%iger Essigsäure gelöst enthält, und läßt sie etwa drei Minuten in dieser Flüssigkeit. Dann wird in 3%iger Essigsäure ausgewaschen, bis aus dem Präparat keine Farbwolken mehr austreten. Während das Gewebe der Wirtspflanzen dabei wieder weitgehend entfärbt wird, bleiben die Pilzhyphen rot und treten

nun im Gewebe hervor. Die Untersuchung saftfrischer, ungefärbter Schnitte setzt zwar eine gewisse Erfahrung voraus, hat sich aber bei meinen Untersuchungen für Griffel- und Narbengewebe am besten bewährt.

### 3. Infektionen mit unspezialisierten Pilzen

Zur Einführung wählte ich Objekte, die sich durch besonders lange Griffel und gut ausgebildete Narben bzw. Narbenäste auszeichneten. Es schienen daher die Gattungen *Oenothera* und *Fuchsia* für die ersten Untersuchungen gut geeignet. Als Infektionsmaterial wurden zunächst wahllos Pilze aus verschiedenen Klassen des Systems verwendet. Allerdings wurde dabei stets darauf geachtet, für diese Versuche nicht streng spezialisierte Pilze zu verwenden, sondern möglichst sogenannte Ubiquisten, also Pilze, die zahlreich und überall vorkommen, um zunächst die Sporenkeimung und die allgemeine Infektionstendenz zu verfolgen.

Von den in der Regel saprophytisch lebenden, überall verbreiteten Aspergillaceen benutzte ich *Penicillium notatum* zur Infektion von Fuchsien nach der angegebenen Methodik. Diese Versuche wurden mit etwa 500 Blüten ausgeführt. Mit wenigen Ausnahmen waren spätestens drei Tage nach der Infektion die Keimschläuche der auskeimenden Konidien auf den Narben sichtbar. Das Narbensekret der Fuchsien stellte für den Pilz ein günstiges Keimungssubstrat dar. Die in Abständen von jeweils vier Stunden anatomisch untersuchten beimpften Blütenorgane zeigten zwar eine dichte Besiedelung der Narbenoberfläche mit dem Pilz (Abb. 1), doch konnte bei keinem dieser „Hyphenbüschchen“ die Bildung eines für das Eindringen in das Griffelinnere notwendigen Appressoriums beobachtet werden (Abb. 2). Stets durchgeführte Kontrollen an Längs- und Querschnitten durch Griffel und Fruchtknoten ließen mit Sicherheit erkennen, daß es dem Pilz



Abb. 1. Fuchsiennarbe mit *Fusarium* bewachsen

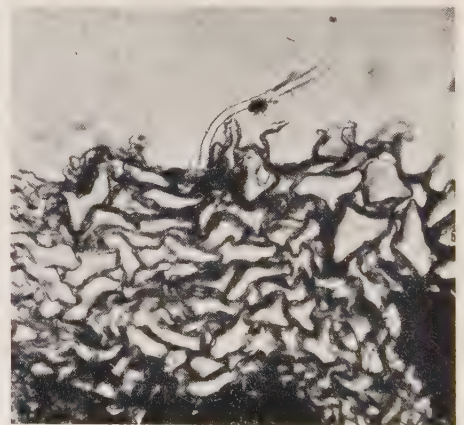


Abb. 2. *Kohleria*, Griffel quer, Keimschlauch von *Aspergillus*



nicht gelang, in das Blüteninnere vorzudringen. Dabei beobachtete ich, daß die infizierten Blüten zwar welken, aber der Griffel nach der Blütenwelke noch Tage voll turgeszent bleibt. Diese Erscheinung steht vollkommen im Gegensatz zu den Beobachtungen an nichtinfizierten, durch Pollen bestäubte Blüten. In diesem Falle welkt nämlich gleichzeitig mit den Blütenblättern auch der Griffel. Außerdem bleiben die infizierten Blüten noch wochenlang am Trieb haften, was bei den bestäubten Blüten nicht der Fall ist (Abb. 3 und 4). Bei mehreren Objekten hatte die Infektion sogar ein Welken und Absterben der ganzen Pflanze zur Folge (Abb. 5).

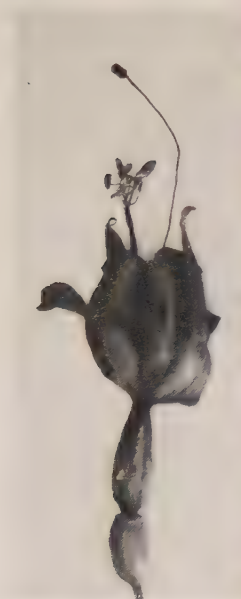


Abb. 3. *Fuchsia*  
bestäubt, Griffel und  
Blüte welk



Abb. 4. *Fuchsia*, Narbe mit  
*Fusarium* bewachsen, Griffel  
turgeszent, Blüte welk



Abb. 5. *Fuchsia* mit einem  
aus einer Birne isoliertem  
*Penicillium* geimpft. Welke  
und Absterben der ganzen  
Pflanze

Weitere unspezialisierte Pilzarten, wie *Mucor* und *Circinella* auf *Calceolaria* und Azaleen, verschiedene *Aspergillus*-Arten auf *Kohleria* und Vertretern der Onagraceen, Ericaceen und Primulaceen, sowie die Pilzgattungen *Rhizopus*, *Macrosporium* und *Cladosporium* zeigten stets die gleichen, schon beschriebenen Erscheinungen. Die Sporen keimten auf der Narbe und die Blüten welkten rasch bei turgeszentem Griffel und hafteten lange am Trieb.

Ein Verzeichnis der geprüften Wirtspflanzen mit unspezialisierten und spezialisierten Pilzarten findet sich auf Seite 412.

Tabelle 1

Verzeichnis der wichtigsten Wirtspflanzen und Pilzstämme,  
die für die Narbeninfektionsversuche verwendet wurden.

Die erfolgreichen Kombinationen gesperrt gedruckt

Wirtspflanzen		Pilzstämme
Familie	Gattung und Art	
<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Leucojum vernum</i>	<i>Absidia glauca</i> , <i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Syncephalastrum racemosum</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> ;
<i>Begoniaceae</i>	<i>Begonia</i> spec.	<i>Mucor hiemalis</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> , <i>Aspergillus</i> gelb, <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Macrosporium</i> ;
<i>Boraginaceae</i>	<i>Pulmonaria officinalis</i>	<i>Circinella tenella</i> , <i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Syncephalastrum racemosum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium graminearum</i> , <i>Monilia</i> spec.;
<i>Campanulaceae</i>	<i>Campanula rotundifolia</i> <i>Codonopsis ovata</i> <i>Codonopsis ussuriensis</i>	<i>Absidia spinosa</i> , <i>Mucor hiemalis</i> , <i>Phycomyces nitens</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium</i> spec., <i>Macrosporium</i> ;
<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Diervilla japonica</i> <i>Weigelia hybrida</i>	<i>Absidia cylindrospora</i> , <i>Absidia spinosa</i> , <i>Mucor genevensis</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> ;
<i>Convolvulaceae</i>	<i>Convolvulus sepium</i>	<i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Panaeolus retirugis</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Macrosporium</i> ;
<i>Cruciferae</i>	<i>Cardamine pratensis</i>	<i>Absidia spinosa</i> , <i>Mucor spinosa</i> , <i>Rhizopus</i> spec., <i>Aspergillus niger</i> , <i>Citromyces</i> , <i>Penicillium digitatum</i> , <i>Sordaria</i> spec., <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis</i> spec., <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Macrosporium</i> ;
<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Choanephora cucurbita</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Monilia cinerea</i> , <i>Monilia</i> spec., <i>Aspergillus niger</i> ;

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Wirtspflanzen		Pilzstämme
Familie	Gattung und Art	
<i>Ericaceae</i>	<i>Azalea alba</i> <i>Azalea californica</i> <i>Azalea ledifolia</i> <i>Azalea sinensis</i> <i>Azalea speciosa</i> <i>Ledum palustre</i> <i>Rhododendron dauricum</i>	<i>Absidia glauca</i> , <i>Absidia spinosa</i> , <i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Citromyces</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Fusarium spec.</i> , <i>Macrosporium</i> , <i>Trichothecium roseum</i> ;
<i>Gentianaceae</i>	<i>Gentiana lutea</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Monilia spec.</i> ;
<i>Gesneriaceae</i>	<i>Isoloma amabile</i> <i>Isoloma erianthum</i>	<i>Absidia glauca</i> , <i>Absidia spinosa</i> , <i>Mucor hiemalis</i> , <i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus oryzae</i> , <i>Syncephalastrum racemosum</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Fusarium spec.</i> , <i>Macrosporium</i> , <i>Trichothecium roseum</i> ;
<i>Liliaceae</i>	<i>Tulipa spec.</i>	<i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> ;
<i>Oleaceae</i>	<i>Forsythia europaea</i> <i>Forsythia suspensa</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Fusarium spec.</i> , <i>Monilia cinerea</i> ;
<i>Onagraceae</i>	<i>Oenothera biennis</i> <i>Oenothera drummondii</i> <i>Oenothera grandiflora</i> <i>Oenothera mollissima</i> <i>Oenothera perennis</i> <i>Fuchsia cordifolia</i> <i>Fuchsia fulgens</i> <i>Fuchsia splendens</i> <i>Fuchsia procumbens</i> <i>Fuchsia arborescens</i> <i>Epilobium angustifolium</i> <i>Epilobium hirsutum</i> <i>Epilobium montanum</i>	<i>Absidia glauca</i> , <i>Absidia spinosa</i> , <i>Circinella tenella</i> , <i>Mucor hiemalis</i> , <i>Mucor racemosus</i> , <i>Mucor spinosa</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Syncephalastrum racemosum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Citromyces</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Fusarium spec.</i> , <i>Macrosporium</i> ;
<i>Primulaceae</i>	<i>Primula veris</i> <i>Primula obconica</i> <i>Primula farinosa</i> <i>Primula sinensis</i>	<i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Botrytis spec.</i> ;
<i>Rosaceae</i>	<i>Pyrus communis</i> <i>Malus sylvestris</i> <i>Prunus avium</i> <i>Prunus cerasus</i> <i>Prunus domestica</i> <i>Prunus amygdalus</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Monilia cinerea</i> , <i>Monilia fructigena</i> , <i>Monilia spec.</i> , <i>Monilia spec.</i> , <i>Monilia spec.</i> , <i>Monilia spec.</i> ;



Tabelle 1 (Fortsetzung)

Wirtspflanzen		Pilzstämme
Familie	Gattung und Art	
<i>Saxifragaceae</i>	<i>Ribes Uva-crispa</i> <i>Ribes rubrum</i> <i>Ribes nigrum</i>	<i>Mucor racemosus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Monilia cinerea</i> , <i>Monilia fructigena</i> , <i>Monilia spec.</i> ;
<i>Scrophulariaceae</i>	<i>Verbascum spec.</i> <i>Digitalis spec.</i> <i>Antirrhinum major</i> <i>Linaria spec.</i> <i>Minulus luteus</i> <i>Pentstemon isophyllus</i>	<i>Absidia glauca</i> , <i>Absidia spinosa</i> , <i>Circinella tenella</i> , <i>Mucor hiemalis</i> , <i>Mucor racemosus</i> , <i>Rhizopus nigricans</i> , <i>Syncephalastrum racemosum</i> , <i>Aspergillus giganteus</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Fusarium spec.</i> ;
<i>Solanaceae</i>	<i>Solanum lycopersicum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> <i>Nicotiana rustica</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> ;
<i>Violaceae</i>	<i>Viola odorata</i>	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus sulfurius</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Botrytis spec.</i>

#### 4. Infektionen mit spezialisierten Pilzen

Nachdem diese wahllosen Kombinationen so wenig Infektionen erbracht hatten, versuchte ich, in den Vegetationsperioden 1954/55 wenigstens die aus der Literatur bekannten Narbeninfektionen mit Spezialisten zu reproduzieren und anatomisch näher zu untersuchen. Zu diesem Zweck infizierte ich mit verschiedenen Stämmen von *Monilia cinerea* und *Monilia fructigena* Kirschen, Zwetschgen, Pflaumen, sowie Birnen- und Apfelblüten. Es wurden mehr als 400 künstliche Blüteninfektionen an Rosaceen durchgeführt. Die Konidien keimten auf den Narben, ähnlich wie bei den beschriebenen Infektionen mit unspezialisierten Pilzarten gut aus, die Keimhyphen von *Monilia cinerea* drangen sogar bei Schattenmorellen bis vier Millimeter tief in den Griffel ein. Stücke des Griffelgewebes, das diese Pilzhyphen enthielt, wurden auf Agar in Petrischalen ausgelegt. Selbst unter günstigen Kulturbedingungen konnte kein weiteres Wachstum des Pilzmyzels auf den Platten festgestellt werden, was nicht nur eine Wachstumshemmung, sondern ein Absterben des Pilzes im Griffelgewebe beweist. Ein Weiterwachsen im Griffel zum Fruchtknoten hin konnte ich auch bei den Monilien nicht erreichen, die aus mumifizierten Früchten isoliert und kultiviert wurden.

Die mit *Botrytis cinerea* durchgeführten künstlichen Infektionen von *Paeonia*-Arten, *Primula sinensis*, *Forsythia*-Arten, *Gentiana lutea* und *Antirrhinum major* zeigten alle ein den Infektionen mit *Monilia* ähnliches Erscheinungsbild.

Der von HÖSTERMANN und NOACK (1923) als echter Blütenparasit bezeichnete Phycomycet *Choanephora cucurbita* auf *Cucurbita pepo* verursachte weder die beschriebene Blütenwelke noch Fruchtfäule an Kürbis. Die gut auskeimenden Sporen drangen bei keiner der 45 untersuchten Blüten in den Griffel ein. Mit isolierten *Botrytis*- und *Monilia*-Arten durchgeführte künstliche Infektionen verletzter Fruchtschalen an Zwetschgen, Äpfeln und Birnen verliefen hingegen in jedem Falle positiv. Durch Wunden gelangte der Pilz in das Fruchtfleisch, durchwucherte dieses und drang bis in das Kernhaus vor. Hier erzeugte er die typische und bekannte Fruchtfäule (Abb. 6).



Abb. 6. Künstliche Fruchtschaleninfektion mit *Monilia cinerea*

#### 5. Die Veränderung äußerer und innerer Faktoren der Wirtspflanzen und deren Bezug auf das Pilzwachstum

Unter dem Eindruck der herrschenden Literaturmeinung wagte ich noch immer nicht anzunehmen, daß der Narbenweg durch Ausbreitungsresistenz verwehrt sei, sondern vermutete, daß nur ich die für die Infektion wichtigen Bedingungen nicht gefunden hatte. Aus diesem Grunde setzte ich weitere Infektionen mit variierten äußeren und inneren Bedingungen an.

##### a) Variierung der Außenfaktoren

Es ist bekannt, daß gewisse pflanzliche Infektionskrankheiten in verschiedenen Jahren und Gegenden häufiger auftreten als sonst. SCHMIDLE (1953) und BUTIN (1955) haben zum Beispiel gezeigt, daß die *Cytospora*-Krankheit der Pappel jahreszeitlich verschieden stark auftreten kann und das Haften der Infektionen von verschiedenen Bedingungen der Wirtspflanze abhängig ist. Das verschiedene Auftreten pflanzlicher Infektionskrankheiten erklärt sich also nicht nur durch die verschiedenen günstigen Entwicklungsbedingungen der Parasiten, sondern auch aus der verschiedenen ausgeprägten Erkrankungsbereitschaft der Wirtspflanze bei verschiedenen Umweltbedingungen. Es wurden deshalb zunächst die wichtigsten äußeren Faktoren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Hemmwirkung des Narben- und Griffelgewebes untersucht.

Den Einfluß der Temperatur prüfte ich an Sauerkirschen-, Primel- und Fuchsienblüten. Durch Einbringen ganzer Pflanzen oder blühender Äste in den Kühlschrank bzw. Thermostaten konnte ich Temperaturen von  $-5^{\circ}\text{C}$  bis  $+40^{\circ}\text{C}$  einwirken lassen. Diese für die Pflanze ungewohnten Temperaturen wirkten verschieden lange (eine Stunde bis zu drei Tagen)

auf die Pflanzen ein. Die nach der Temperaturbehandlung vorgenommenen Infektionen unterschieden sich in ihrem Verlauf nicht von denen, die im optimalen Temperaturbereich von 15 °C bis 20 °C durchgeführt wurden: Auch hier drang *Monilia* bis zu zwei Millimeter tief in den Griffel ein und stellte dann plötzlich das Wachstum ein, während die unspezialisierten Pilzarten auf den Narben nur auskeimten.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß in feuchten Jahren pilzliche Infektionskrankheiten häufiger auftreten als in trockenen Jahren. Die Sporenkeimung und erste Entwicklung des pilzlichen Parasiten ist stets von einer ausreichenden Luftfeuchtigkeit abhängig, die gar nie zu groß sein kann, da sich bei den aerogenen Infektionen das Feuchtigkeitsoptimum mit dem Luftfeuchtigkeitsmaximum deckt, nämlich in tropfbar flüssigem Wasser, bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit. Um eine maximale Luftfeuchtigkeit zu erhalten und somit den natürlichen Verhältnissen nahezukommen, habe ich die Pflanzen bis 20 Tage lang unter Glasglocken feucht gehalten. Die Infektionen wurden bei andauernder Feuchtigkeit sowie nach Herausnahme der Pflanzen aus dem feuchten Milieu durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, daß eine Feuchtigkeitsänderung auf die pflanzliche Resistenz keinen Einfluß hat.

Andere Pflanzen habe ich einen bis drei Tage lang im Licht der Bogenlampe, im Halbdunkel oder im völligen Dunkel gehalten. Bei allen diesen Versuchen stellte sich jedoch heraus, daß das Licht die Stärke der Infektion nicht beeinflussen kann.

Die Außenfaktoren, wie Temperatur, Feuchtigkeit und Licht, hatten auf die Resistenz von Narbe und Griffel gegen Pilzinfektionen keinen Einfluß, wie die negativen Ergebnisse zeigten. Diese Abwehrfähigkeit ist also nicht von äußeren Einflüssen, sondern von Faktoren abhängig, die in der Pflanze selbst liegen.

## b) Variierung der inneren Faktoren

### a) Alter der Versuchspflanzen und der Blüten

Bei diesen Infektionsversuchen habe ich besonders darauf geachtet, möglichst viele Pflanzen einer Gattung oder Art in verschiedenem Alter und Einzelblüten verschiedenen Alters zu impfen. Dazu dienten mir einjährige Pflanzen, u. a. *Pentstemon*, *Antirrhinum*, *Nicotiana*, *Mimulus* sowie mehrjährige Ziersträucher und Obstbäume von 3 bis 20 Jahren. Die Blüten wurden in verschiedenen Stadien, so vor der natürlichen Öffnung der Blumenblätter, kurz nach dem Öffnen der Blüten, vor und nach der Bestäubung geimpft. Auch habe ich Infektion und Bestäubung zeitlich zusammengelegt. Die Versuche haben gezeigt, daß der Pilz weder nach der Bestäubung den erschlaffenden Griffel, noch den von Blumenblättern umhüllten jungen Griffel passieren, noch auch gleichzeitig mit dem Pollenschlauch in das Griffelinnere eindringen kann. Die Resistenz ist demnach in allen Altersstufen ausgeprägt.



## β) Einfluß von Verwundungen

Die Infektionsbedingungen wurden noch dadurch variiert, daß neben völlig intakten Blütenorganen auch solche, die künstlich verletzt wurden, zur Infektion Verwendung fanden. Es wurden die Narben und Griffel in verschiedenen Höhen abgeschnitten und der am Fruchtknoten verbleibende Narben- oder Griffelrest geimpft. Zum Teil habe ich die Blütenorgane bis zum Fruchtknoten oder noch Stückchen davon abgeschnitten. Bei allen damit ausgeführten Infektionen keimten die Sporen, aber kein Pilz konnte das lockere Griffelgewebe passieren. Dasselbe Ergebnis erhielt ich bei Infektionen durch Stich- und Schnittwunden an Griffel und Narbe.

## B. Die pflanzliche Resistenz

Die Tatsache, daß in meinen etwa 1500 Versuchen weder spezialisierte noch unspezialisierte Pilze von der Blüthenarbe aus durch den Griffel zum Fruchtknoten vordringen konnten, ja, daß es den Pilzen zum Teil nicht einmal möglich war, in den Griffel einzudringen, hat mich veranlaßt, dem Problem nachzugehen, wodurch die auffallend hohe Resistenz der Blütenorgane gegenüber pilzlichen Parasiten bedingt ist. Damit soll die Möglichkeit gelegentlicher Narbeninfektionen keineswegs geleugnet werden; meine Versuche beweisen vorerst nur, daß sie wesentlich seltener sind, als gemeinhin angenommen; die Bedingungen erfolgreicher Infektionen sind erst zu ermitteln.

### 1. Begriffsbestimmung und Literatur

Wenn eine Pflanze trotz Anwesenheit von ausreichenden Infektionskeimen und für die Infektion günstigen äußeren Bedingungen nicht erkrankt, so kann dies nur darin begründet sein, daß die Pflanze entweder gegen das Eindringen des Parasiten geschützt ist, oder aber, daß dieser in den Geweben sich nicht auszubreiten vermag. Im ersteren Falle spricht man von Eindringungsresistenz, im letzteren von Ausbreitungsresistenz. Eindringungsresistenz bedeutet Infektionsschutz, wobei vor allem der Bau der Oberhaut in Betracht gezogen wird, ein Faktor, der bei Blüteninfektionen über die Narbe bedeutungslos ist, weil der Parasit weder eine Wachsschicht, noch eine Kutikula durchdringen muß. Die Ausbreitungsresistenz umfaßt die Hindernisse, die der Ausbreitung des eingedrungenen Erregers entgegenstehen. Der Organismus kann zwar infiziert werden, doch kann die Infektion sich in der Pflanze nicht ausbreiten. Die Ausbreitungsresistenz kann auf histologischen Faktoren beruhen, die aber beim Griffel- und Narbengewebe meist ausscheiden, oder durch besondere chemische Verbindungen in den Zellen der Wirtspflanzen bedingt sein. Und dieses letztere Prinzip schien für die in den Blütenorganen von mir vermutete Ausbreitungsresistenz verantwortlich zu sein.

Die Resistenz der verschiedenen pflanzlichen Organe und Gewebe gegen pilzliche Parasiten ist von GÄUMANN und ZIMMERMANN eingehend

erörtert worden. Die Autoren beschreiben die Resistenz der Wurzeln, des Stammes, der Rinde und Blätter. Doch wird in der Literatur an keiner Stelle das Problem der Resistenz der Blütenorgane aufgegriffen.

## 2. Charakterisierung der Hemmwirkung als Hemmstoffwirkung

Die Variierung der Außen- und Innenfaktoren legt die Vermutung nahe, daß es sich bei der pflanzlichen Resistenz gegen Pilzinfektionen um stoffliche Faktoren in den Blütenorganen handeln dürfte. Ihr Nachweis war das Ziel der folgenden Untersuchungen.

### a) Methodik der Hemmstoffuntersuchungen

Die Prüfung der Hemmwirkung von Blütenorganextrakten auf das Pilzwachstum wurde mit einem den Antibiotikatesten ähnlichen Strich- und Lochtest auf Agar-Agar in Petrischalen durchgeführt.

Als Nährboden verwendete ich hauptsächlich Bierwürzeagar. Zu dessen Herstellung wurde dunkle, ungehopfte 16- bis 18%ige Bierwürze mit Leitungswasser auf 3 % verdünnt. Darin ließ ich 24 Stunden 1,5 bis 2 % pulverisierten Agar-Agar quellen und sterilisierte anschließend das Gemisch fraktioniert zwei- bis dreimal 1 bis 1½ Stunden in Tagesabständen im Dampftopf. Nach der Sterilisation filtrierte ich das Nährbodengemisch durch Watte und goß es, etwa 3 Millimeter dick, in Petrischalen aus. Diese Nährbodenplatten wurden nach 24 Stunden erneut 1 Stunde sterilisiert. An Stelle von Bierwürze verwendete ich auch Biomalz, Malzextrakt oder für besonders anspruchsvolle Pilze, wie *Choanephora cucurbita* (Berk. et Rav.) Thaxt., auch Haferflockenextrakt. Die mit Pilz und Narben oder Narbenextrakt beimpften Platten wurden bei Zimmertemperatur gehalten.

In der Mitte der Schale impfte ich den Pilz strichförmig, seitlich davon wurde ein mit einer sterilen Spatel ausgehobenes Loch mit sterilen Griffel- und Narbenextrakten angefüllt. Das für die Herstellung der Extrakte verwendete Blütenmaterial wurde in der Reibschale fein zerrieben und im Vakuumexsikkator eingeengt, um eine möglichst hohe Konzentration zu erhalten. Die anschließende Sterilisation erfolgte im Bakterienfilter mit Göttinger Membranfilter, mittlerer Porenweite Nr. 5, um eventuell vorhandene hitzelabile Stoffe nicht durch eine Hitzesterilisation zu zerstören.

Bei einer zweiten Versuchsreihe legte ich Narben nach kurzem Eintauchen in steriles Wasser oder auch Griffelstückchen direkt in die Mitte des Agarbodens, wobei der Pilz beidseitig der Narben oder Griffelstücke geimpft wurde. Eindrucksvolle Bilder entstanden bei diesem Verfahren dann, wenn auf einer Platte zugleich sowohl der Hemmstofftest als auch die Blindprobe durchgeführt wurde. Dabei habe ich die Narben nur bis zu einem Drittel des Plattendurchmessers aufgetragen, den Pilz jedoch beidseitig auf die gesamte Länge der Platte abgeimpft. Abbildung 11 zeigt den Test mit Blindprobe, der mit *Primula*-Narben durchgeführt wurde. Auf dem Bilde ist um die aufgelegten Narben eine pilzfleie Zone deutlich erkennbar. Bei diesem Verfahren kam der Hemmhof in der Zone der auf-

getragenen Narben deutlicher zur Geltung, während der Pilz außerhalb der Hemmzone über die ganze Platte wucherte. Das Auslegen ganzer Narben hat der Verwendung von Extrakten gegenüber den Nachteil, daß die Hemmhöfe nicht so deutlich konturiert sind, was sicher darin begründet ist, daß beim Extraktverfahren die Konzentration des Hemmstoffes höher liegt und dieser gleichmäßiger verteilt ist als beim direkten Auflegen der Narben.

### b) Ergebnisse der Testversuche

Bei den ersten Untersuchungen führte ich den Strich- und Lochtest durch. In die Mitte der Platten impfte ich strichförmig *Aspergillus sulfurius*. Zur Herstellung des Extraktes dienten Narben und Griffel von Azaleen. Dieser erste Test zeigte schon nach zwei Tagen, daß das Pilzwachstum in der Kontaktzone zwischen dem Pilzmyzel und dem in den Agar diffundierten Extrakt zum Stillstand gekommen war, das heißt, das Pilzwachstum war dort unmöglich, wo die Hyphen mit dem das Pilzwachstum in den Blütenorganen verhindernden Stoff auf der Agarplatte zusammentrafen (Abb. 7). Es entstand also ein deutlicher Hemmhof, der das Vorhandensein eines hemmend wirkenden Stoffes in den Narben und Griffeln von Azaleen beweist.

Bei den weiteren Versuchen habe ich keine Extrakte verwendet, um mit Sicherheit beweisen zu können, daß der hemmend wirkende Stoff nicht durch eine zufällige Reaktion von Verbindungen des Zellsaftes erst bei der Extraktion entsteht; es wurden die ganzen Narben und Griffelstücke direkt auf den Agar gelegt. Die Hemmwirkung konnte ich bei allen geprüften Narben und Griffelstücken feststellen, wobei Narben von *Mimulus*, *Pentstemon*, *Primula*, *Fuchsia* und *Oenothera* besonders schöne Hemmhöfe zeigten (Abb. 8 und 9). Um die Narben ist beidseitig ein deutlicher Hemmhof erkennbar, während der Pilz über die narbenfreien Agarhälften ungehindert hinwächst. Nur mit Pilz geimpfte Platten zeigten deutlich, daß das Pilzmyzel über die ganze Agarplatte gleichmäßig wächst, ohne irgendwelche Hemmzonen (Abb. 10). Eindrucksvoll ist der Test mit Blindprobe bei *Primula*-Narben (Abb. 11). Hier liegen die Narben nur im ersten Drittel der Schale, während der Pilz beidseitig der Narben über die ganze Länge des Schalenabschnittes geimpft wurde. Die Hemmzone entsteht hier im ersten Drittel des Schalendurch-

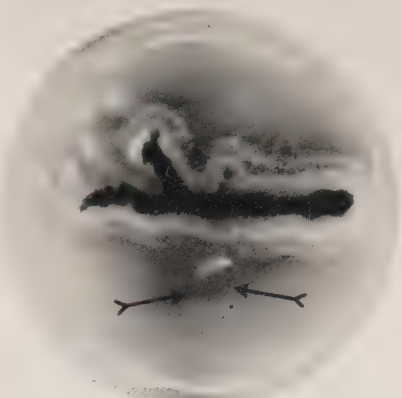


Abb. 7. Azaleennarbenextrakt (in dem mit Pfeilen markierten Stanzloch) mit destilliertem Wasser ausgezogen. *Aspergillus sulfurius* ist an der Kontaktzone von Extrakt und Pilz unterbrochen



messers, das heißt nur um die Narben, während in dem folgenden Schalenabschnitt der Pilz über die ganze Schale hinwuchert. Die stärkste Hemmwirkung zeigten die Narben und die obere Griffelhälfte; sie schwächt sich zum Fruchtknoten hin ab. Blumenblattextrakt hingegen zeigt gar keine hemmende Wirkung. Ebenso verhält sich der Blütenstiel und Fruchtextrakt. Dies kann als Beweis dafür gewertet werden, daß die Hemmwirkung nur auf bestimmte Pflanzenteile lokalisiert ist.

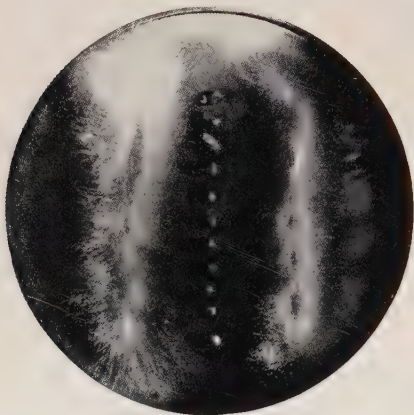


Abb. 8. Hemmzonenbildung bei *Pentstemon*-Narben



Abb. 9. Versuch: Hemmzone bei *Oenothera*-Narbenästen



Abb. 10. Kontrolle: Der Pilz wächst ohne Narben über die ganze Platte hinweg



Abb. 11. Derselbe Versuch mit *Primula*-Narben

### c) Eigenschaften des Hemmstoffes

Zur Feststellung einiger grundsätzlicher chemischer Eigenschaften des hemmenden Stoffes wurde mit *Primula*-Extrakt gearbeitet, der stets einen gut konturierten Hemmhof ergab.

Den Extrakt, der nach der bisherigen Methode hergestellt wurde, habe ich mit einem gewöhnlichen Filter von den unlöslichen Zellrückständen gesäubert. Das Filtrat wurde im Thermostaten je 15 Minuten auf 60 °C und auf 100 °C erhitzt und anschließend zum Strich- und Lochtest in das Stanzloch der Agarplatte gebracht. Der Pilz wuchs dann über den Extrakt hinweg; der hemmende Stoff ist also hitzelabil (Abb. 12).

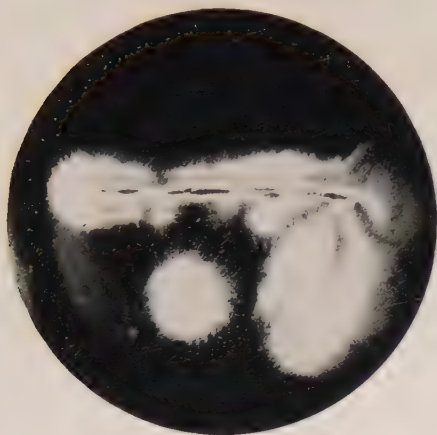


Abb. 12. Der Pilz wächst selbst im extraktgefüllten Stanzloch des bei 100 °C sterilisierten Pflanzenextraktes



Abb. 13. Wachstumshemmung von *Botrytis cinerea* durch ätherlöslichen Hemmstoff. Um die beiden Stanzlöcher ist der Extrakt stark in den Agar diffundiert

Die Wasserlöslichkeit dieses Stoffes zeigt Abbildung 7. Hier wurde der Extrakt mit destilliertem Wasser ausgezogen. Bei der Löslichkeitsprüfung in verschiedenen Lösungsmitteln, wie Chloroform, Äther und Alkohol, wurde das pflanzliche Ausgangsmaterial nicht mit Wasser, sondern mit Chloroform, Äthyläther und absolutem Äthylalkohol ausgewaschen. Nach einer 24stündigen Extraktion wurden die organischen Lösungsmittel im Vakuumexsikkator abgedampft und der bleibende Rückstand mit destilliertem Wasser aufgenommen und sterilisiert. In den genannten drei Lösungsmitteln war dieser Stoff löslich. Es entstanden deutliche Hemmzonen (Abb. 13).

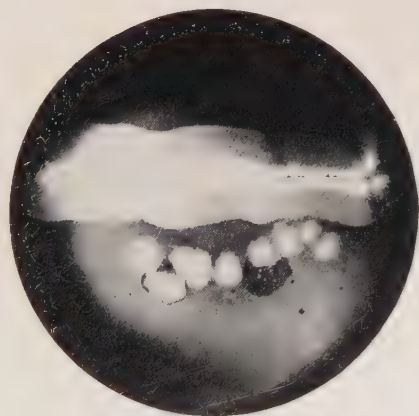


Abb. 14. Hemmstoff durch UV-Belichtung zerstört. Pilzwachstum nicht gehemmt, sogar in den extraktgefüllten Stanzlöchern möglich

Schließlich wurde noch auf das Verhalten des Hemmstoffes im ultravioletten Licht (UV) geprüft. Die UV-Bestrahlung wurde mit der Stab-Analysen-Lampe S 80 der Quarzlampen Gesellschaft Hanau durchgeführt.

Die Strahlen wirkten 15 Minuten auf den Extrakt ein und zerstörten die Hemmwirkung des Stoffes. Er ist also UV-labil (Abb. 14).

### 3. Die Wirkung des Griffelextraktes auf das Pollenschlauchwachstum

Pollen von *Fuchsia fulgens*, *Fuchsia procumbens*, *Mimulus luteus*, *Pentstemon isophyllus* und *Primula obconica* wurde bei Zimmertemperatur zur Keimung ausgelegt auf Bierwürzeagar, Biomalzagar und 2%iger Gelatine ohne Zusätze. Auf keinem dieser Nährböden konnte der Pollen zur Keimung gebracht werden. Schließlich wurde folgender Nährboden versucht: 2%ige Gelatine mit Spuren von Zitronensäure<sup>1)</sup>. Darauf konnte Pollen ohne weiteres zur Keimung gebracht werden.

In ausgestanzte Löcher dieses Nährbodens wurde dann wiederum Griffelextrakt gebracht und Pollen in der Nähe des Extraktes zur Keimung ausgelegt. Es konnte in keinem Falle ein gerichtetes Wachstum des Pollens auf den Extrakt hin oder von diesem weg erkannt werden.

Bei weiteren Versuchen wurde Pollen in einzelnen Tropfen von wässrigem Griffelextrakt zur Keimung gebracht. Dazu verwendete ich Deckgläser, die ich dann in sterilen Petrischalen einige Tage aufbewahrte. In diesen Extrakten keimte der Pollen ebenso gut wie auf Zitronensäuregelatine.

Diese Versuche zeigen, daß die Keimung des Pollens durch einen bestimmten Stoff angeregt werden muß oder überhaupt nur bei dessen Gegenwart möglich ist. Dieser Stoff ist im Narbensekret und, wie die Versuche zeigen, mit Sicherheit auch im Griffel vorhanden. Ob es sich dabei in der Pflanze ebenfalls um die im Modellversuch ausreichend wirksame Zitronensäure handelt, konnte noch nicht geklärt werden.

## C. Diskussion der Ergebnisse

Während zweier Vegetationsperioden wurden insgesamt mehr als 1500 Pilzinfektionen an Narben experimentell erzeugt. In keinem einzigen Falle gelang es dabei irgendwelchen Pilzen, auf dem Wege über die Narbe und den Griffel bis in den Fruchtknoten vorzudringen. Nach diesen Ergebnissen scheint es kaum zuzutreffen, daß Narbe und Griffel den „wirkungsvollsten Infektionsweg“ für Mikroorganismen darstellt, wie es GÄUMANN in seiner „Pflanzlichen Infektionslehre“ vermutet. Dagegen wurde in diesen Untersuchungen bestätigt, daß Narbensekrete für Pilzsporen tatsächlich ein günstiges Keimungssubstrat darstellen.

Die weitere Beobachtung des Wachstums der Pilzhyphen zeigte aber immer wieder, daß nicht auf bestimmte Wirte spezialisierte Pilze überhaupt nicht in den Griffel eindringen konnten. Ja selbst wenn man die auf ganz bestimmte Wirte spezialisierten Pilzarten zur Infektion verwendet, können diese niemals mehr als einige Millimeter in den Griffel vordringen, keinesfalls jedoch auf diesem Wege Infektionen von Früchten hervorrufen.

<sup>1)</sup> Diesen Hinweis verdanke ich Herrn Privatdozenten Dr. ZIEGLER.



Es ist demnach anzunehmen, daß, wie auch die Untersuchungen von MITTMANN, WORMALD und KILLIAN zeigen, Fruchtknoteninfektionen höchstens mit äußerst spezialisierten Pilzrassen auf ganz bestimmten Pflanzenrassen möglich sind, wenn es sich nicht überhaupt auch in allen diesen Fällen um keine echten Griffelinfektionen handelt. Durch keinerlei eigene Ergebnisse bestätigt und recht unwahrscheinlich erscheinen auf alle Fälle die Angaben ZIMMERMANNs, daß selbst nicht spezialisierte Pilze den Griffel als Infektionsweg in die Frucht benützen.

Ebenso scheint es sich bei den Angaben APPELS wohl um eine Fehldeutung des Welkens der infizierten Blüten zu handeln. Auch in meinen Versuchen konnte immer wieder beobachtet werden, daß die Blüten und die Blütenstiele nach der Infektion bald welken und schrumpfen, aber sogar bis in den Herbst hinein an den Pflanzen hängen bleiben; die zahlreichen anatomischen Untersuchungen widerlegen aber die Ansicht APPELS, daß diese Erscheinungen durch das bis in den Blütenstiel weitergewachsene Pilzmyzel verursacht werden. Es muß vielmehr angenommen werden, daß ein vom Pilz in die Blüte abgeschiedener Stoff diese Erscheinungen hervorruft.

In weiteren Versuchen gelang es andererseits stets, selbst durch kleine Fruchtverletzungen an Birnen, Äpfeln und Zwetschgen, regelmäßig starke Infektionen hervorzurufen. Die Versuche ergaben, daß im Gegensatz zu der Ansicht vieler Verfasser, dieser Infektionsweg wohl der „wirkungsvollste“ und der normale Weg für die Entstehung der tatsächlich zahllosen Fruchtfäulen ist.

Diese Befunde zeigen zudem, daß das Scheitern der Fruchtknoteninfektionen auf dem Wege durch den Griffel keineswegs auf eine mangelnde Infektionstüchtigkeit des Pilzes zurückzuführen ist. Da man andererseits auch nicht den anatomischen Bau des Griffels als das eigentliche Hindernis ansehen kann, wie das millimetertiefe Eindringen der Pilze von der Narbe her in vielen Fällen beweist, mußte mit einer wahrscheinlich stofflich begründeten Resistenz des Fruchtknotens und Griffelgewebes gerechnet werden. Ihr Nachweis war Gegenstand des zweiten Teiles meiner Untersuchungen. Dieser Teil sollte den Grund für die Hemmung des Pilzwachstums genauer analysieren.

In einer ersten Reihe von Versuchen wurde dabei der Einfluß der äußeren Faktoren Temperatur, Feuchtigkeit und Licht geprüft. Alle drei Faktoren können die Resistenz des Griffelgewebes weder vergrößern noch verringern. Der Gedanke, daß es sich bei der Hemmwirkung also um eine Hemmstoffwirkung handelt, war naheliegend.

In einer weiteren Versuchsreihe konnte gezeigt werden, daß auch das verschiedene Alter der Blüten und der Versuchspflanzen keinen Einfluß auf die Hemmwirkung hat.

Selbst tiefe Verwundungen des Griffels und Fruchtknotens können deren Resistenz nicht vermindern; nicht einmal in angeschnittene Fruchtknoten konnten die Pilze hineinwachsen.

Viele Kulturversuche auf Agarplatten erbringen den Beweis, daß die natürliche Resistenz von Fruchtknoten und Griffelgewebe durch einen wasserlöslichen Hemmstoff verursacht wird, welcher auch in den Petrischalen das Pilzwachstum in deutlichen Hemmhöfen aufhalten kann. Extrakte von Blütenblättern und Blütenstielen hingegen zeigen keine Hemmung der Pilzkulturen.

Diese Tatsachen stehen im Gegensatz zu der Ansicht mancher Verfasser, welche Narbe und Griffel sogar als eine vorbereitete Eintrittspforte für Pilze erkennen möchten. Es scheint im Gegenteil die Pflanze den gefährdeten Fruchtknoten zum Schutze der wachsenden Samen mit einem besonderen natürlichen Schutz in Form eines das Pilzwachstum hemmenden Stoffes ausgestattet zu haben.

#### D. Zusammenfassung

1. Mehr als 1500 Narben von 61 verschiedenen Pflanzen wurden mit Pilzen künstlich infiziert und anatomisch untersucht. In keinem Falle konnte dabei der Pilz auf dem Wege über Narbe und Griffel zum Fruchtknoten vordringen. Selbst auf bestimmte Wirte spezialisierte Pilze konnten nicht tiefer als vier Millimeter in den Griffel eindringen. Unspezialisierte Pilzarten hingegen konnten überhaupt nur außen auf der Narbe Myzel ausbilden.
2. Das Narbensekret erwies sich in allen Fällen als keimungsfördernder, guter Nährboden für Pilzsporen. Die Hemmung des Pilzwachstums erfolgte immer erst unter dem Einfluß des Griffelgewebes.
3. Nach der Infektion der Narben waren die Griffel noch lange Zeit turgeszent, während die übrigen Teile der Blüte rasch verwelkten. Die infizierten Blüten insgesamt blieben bis in den Herbst hinein an der Pflanze hängen.
4. Infektionen verschiedener Früchte durch kleine Verletzungen der Fruchtschale konnten mit spezialisierten Pilzen immer leicht experimentell erzeugt werden, waren mit nicht spezialisierten Pilzen jedoch nicht möglich.
5. Die Hemmwirkung des Griffelgewebes auf das Pilzwachstum konnte durch verschiedene Temperaturen, Feuchtigkeiten und Lichtverhältnisse nicht beeinflußt werden. Auch das unterschiedliche Alter der Pflanzen und der Einzelblüten waren ohne Einfluß. Nicht einmal durch tiefe Verwundungen von Narbe und Fruchtknoten wurde die Hemmwirkung beseitigt.
6. Die Hemmwirkung wurde als Hemmstoffwirkung erklärt. Dieser Stoff ist in Narben und Griffeln in höherer Konzentration, im Fruchtknoten etwas abgeschwächt, in Blütenstielen und Blumenblättern dagegen gar

nicht vorhanden. Der Hemmstoff wird durch UV-Licht und Erhitzen auf 60 °C zerstört. Er ist in Wasser, Äthylalkohol, Äthyläther und Chloroform löslich.

7. Dieselben Narben- und Griffelextrakte, die auf das Wachstum von Pilzen hemmend wirken, haben keinen Einfluß auf das Wachstum der Pollenschläuche, enthalten aber Stoffe, welche die Pollenkeimung auszulösen vermögen.

### Literaturverzeichnis

- APPEL, O., 1920: Die Monilia-Krankheiten unserer Obstbäume und ihre Bekämpfung. Flugbl. Nr. 14, Biol. Reichsanst. f. Land- u. Forstwirtsch.
- BARY, A. DE, 1884: Vergleichende Morphologie und Biologie der Pilze, Mycetozoen und Bakterien. Leipzig.
- BRANSCHIEDT, P., 1930: Zur Physiologie der Pollenkeimung und ihrer experimentellen Beeinflussung. *Planta* **11**, 368.
- BUTIN, H., 1955: Über den Einfluß des Wassergehaltes der Pappel auf ihre Resistenz gegenüber *Cytospora chrysosperma* (Pers.) Fr. *Phytopath. Z.* **24**, 245.
- CALAVAN, E. C., and KEITT, G. W., 1948: Blossom and spur blight (*Sclerotinia laxa*) of sour cherry. *Phytopathology* **38**, 857.
- DORN, O., 1914: Beiträge zur Kenntnis von der Durchbohrung pflanzlicher Membranen durch Pilzhypen. Inaug.-Diss., Leipzig.
- EWERT, R., 1912: Verschiedene Überwinterung der Monilien des Kern- und Steinobstes und ihre biologische Bedeutung. *Z. Pflanzenkrankh.* **22**, 65.
- GÄUMANN, E., 1951: Pflanzliche Infektionslehre. 2. Aufl. Basel.
- —, 1926: Vergleichende Morphologie der Pilze. Jena.
- HECKE, L., 1905: Zur Theorie der Blüteninfektion. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* **23**, 248.
- HOLZ, W., 1936: Zur Färbung des Myzels von *Fusicladium dendriticum* in Apfelblättern. *Zbl. Bakt.* **94**, 195.
- HÖSTERMANN, G. und NOACK, M., 1923: Lehrbuch der pilzparasitären Pflanzenkrankheiten. Berlin.
- HUBER, P. und SCHOCH-BODMER, H., 1944: Pollenschläuche im Narben- und Griffelgewebe. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* **54**, 71.
- JOST, L., 1907: Über die Selbststerilität einiger Blüten. *Bot. Ztg.* **65**, 77.
- KILLIAN, K., 1921: Über die Ursachen der Spezialisierung bei den Ascomyceten. I. Die *Monilia cinerea* der Kirschen. *Zbl. Bakt.* **53**, 560.
- KISSER, J., 1939: Die botanisch-mikrotechnischen Schneidemethoden. *ABDERHALDEN, Handb. d. biol. Arbeitsmeth.* **IV**, 391.
- KOTTE, W., 1948: Krankheiten und Schädlinge im Obstbau und ihre Bekämpfung. 2. Aufl. Berlin u. Hamburg.
- KÜSTER, K., 1925: Pathologische Pflanzenanatomie. 3. Aufl. Jena.
- LANG, W., 1910: Die Blüteninfektion beim Weizenflugbrand. *Zbl. Bakt.* **25**, 86.
- MACDOUGAL, D. T., 1899: Symbiosis and saprophytisme. *Ann. of Bot.* **8**, 1.
- MAIER, W., 1942: Über ein Zweigsterben der Aprikosen als Folge von Monilia-Fruchtfäule. *Z. Pflanzenkrankh.* **52**, 91.
- —, 1942: Beobachtungen und Untersuchungen über die Monilia-Fruchtfäule der Aprikosen. *Angew. Bot.* **24**.
- MARCUS, O., 1951: Zum Nachweis von Pilzhypen in pflanzlichen Geweben. *Mikrokosmos* **40**, 268.



- MITTMANN, G., 1938: Infektionsversuche an Obstbäumen mit Stämmen verschiedener Herkunft von *Monilia cinerea* und *Monilia fructigena*. Z. Pflanzenkrankh. **48**, 232.
- —, 1940: Untersuchungen über die *Monilia*-Resistenz von Sauerkirschen. Z. Pflanzenkrankh. **50**, 84.
- ROMEIS, B., 1948: Mikroskopische Technik. 15. Aufl. München.
- SATIN, S. v., 1922: Lentizellen als Eintrittspforten für parasitische Pilze. Ber. Dtsch. Bot. Ges. **40**, 310.
- SCHMID, R., 1954: Über die histologische Spezialisierung von Blatt- und Rindenpilzen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer Beziehungen zum Phloem. Phytopath. Z. **21**, 407.
- SCHMIDLE, A., 1953: Die *Cytospora*-Krankheit der Pappel und die Bedingungen für ihr Auftreten. Phytopath. Z. **21**, 83.
- —, 1953: Zur Kenntnis der Biologie und der Pathogenität von *Dothichiza populea* Sacc. et Briard, dem Erreger eines Rindenbrandes der Pappel. Phytopath. Z. **21**, 189.
- SCHMIDT, M., 1938: Infektionsversuche mit *Sclerotinia cinerea* an Süß- und Sauerkirschen. Gartenbauwissenschaft **11**, 167.
- SORAUER, P., 1928: Handb. d. Pflanzenkrankh. II u. III. 5. Aufl. Berlin.
- WOESTE, U., 1954: Anatomische Untersuchungen über die Infektionswege einiger Wurzelpilze. Inaug.-Diss., München.
- WORMALD, H., 1919 u. 1920: The Brown Rot diseases of fruit trees with special reference to the biological forms of *Monilia cinerea*. Ann. Bot. **33**, 361, **34**, 143.
- ZIMMERMANN, A., 1927: Sammelreferate über die Beziehungen zwischen Parasit und Wirtspflanze. Zbl. Bakt. **69**, 352, **70**, 51, **70**, 261, **70**, 411.

*Aus dem Biologischen Institut der Farbenfabriken Bayer, Leverkusen*

## **Untersuchungen über die Wirkung von Chinonoxim-benzoylhydrazon<sup>1)</sup> gegen Keimlingskrankheiten verschiedener Kulturpflanzen**

Von

P. E. FROHBERGER

*Mit einer Abbildung*

### **Einleitung**

Seit Jahrzehnten werden zahlreiche Pflanzenkrankheiten durch Beizen des Saatgutes erfolgreich bekämpft. Als Beizmittel haben sich besonders solche bewährt, die als Wirkstoff wenige Prozent einer organischen Merkuriverbindung enthalten. Die gebräuchlichen Quecksilberverbindungen besitzen eine universelle fungizide Potenz. Als Beizmittel angewandt, entfalten sie ihre Wirksamkeit gegen alle Krankheitserreger, die dem Saatgut äußerlich anhaften. Sie desinfizieren die Saatgutoberfläche und verhindern samenbürtige Keimlingsinfektionen, ohne die Keimung der Samen oder das Wachstum der Pflanzen zu beeinträchtigen. Sie bleiben jedoch wirkungslos, wenn die Krankheitserreger bereits in die Samen eingewachsen sind. Deshalb können z. B. *Ustilago nuda* (JENS.) KOST. und *Ustilago tritici* (PERS.) JENS. durch Saatgutbehandlung mit Quecksilberverbindungen nicht bekämpft werden, und der Beizerfolg gegen *Colletotrichum lindemuthianum* SACC. u. MAY. ist oft unbefriedigend. Ferner werden die Quecksilbersalze im Boden leicht absorptiv festgelegt, so daß ihre fungizide Wirkung auf die unmittelbare Umgebung der gebeizten Samen beschränkt bleibt. Wir konnten mit der von ZOGG (1) beschriebenen Methode nachweisen, daß sich die Fernwirkung handelsüblicher Quecksilberbeizmittel im Boden von der Samenoberfläche aus nicht weiter als höchstens 1 bis 2 mm bemerkbar macht. Der sogenannte Beizhof

<sup>1)</sup> Wirkstoff der Saargutbeizen Cerenox und Cerenox-Spezial.

ist also außerordentlich klein und bietet dem wachsenden Keimling gegen bodenbürtige Infektionen nur einen sehr kurzfristigen und ungenügenden Schutz. So hält z. B. RIEHM (2) die Beizung von Rübenknäulen für zwecklos, wenn nur die am Saatgut haftende *Phoma betae* FRANK wirksam bekämpft werden kann, nicht aber die im Boden lebenden Pilze *Pythium debaryanum* HESSE und *Aphanomyces laevis* DE BY. Das Verhältnis der Häufigkeit, mit der *Phoma*, *Pythium* und *Aphanomyces* am Wurzelbrand ursächlich beteiligt sind, wird mit etwa 7 : 4 : 2 angegeben. Das besagt, daß die Wahrscheinlichkeit der Infektion vom Saatgut und vom Boden aus annähernd gleich groß ist (BRAUN 3). Auch bei zahlreichen anderen Kulturpflanzen, wie z. B. Erbsen, Bohnen, Lein, Mais und Baumwolle, die ebenfalls häufig in starkem Maße unter Keimlingskrankheiten leiden, liegen die Verhältnisse ähnlich. Die Beizwirkung ist oft unbefriedigend, weil auch hier aus den oben angegebenen Gründen kein nennenswerter Effekt gegen die Infektionen vom Boden her möglich ist. Da diese Keimlingskrankheiten ganz erhebliche Ausfälle verursachen können, die starke Ertragsminderungen zur Folge haben oder Neubestellungen der Felder erforderlich machen, sind sie von beachtlicher wirtschaftlicher Bedeutung. Es liegt daher ein echter Bedarf für Präparate vor, die hier die Leistung organischer Quecksilberverbindungen übertreffen und nicht die Kosten einer thermischen oder chemischen Bodendesinfektion verursachen.

In letzter Zeit haben einige organische Verbindungen als Wirkstoffe für Saatgutbeizmittel praktische Bedeutung erlangt, die zwar keine universelle Wirksamkeit im Sinne der Quecksilberverbindungen aufweisen, die aber gegen gewisse Auflaufkrankheiten Wirkungsvorteile besitzen. Die bekanntesten sind: Tetramethylthiuramdisulfid (TMTD), das mit 50 bis 80 % in verschiedenen Saatgutbeizmitteln des Weltmarktes enthalten ist, N-Trichlor-methylmercapto-4-cyclohexan-1, 2-dicarboximid (Captan), das zu 75 % im Orthocide 75 Seed Protectant enthalten ist, 2, 3-Dichlor-1, 4-naphtochinon (Dichlone), von dem das Präparat Phygon 50 % enthält, und Tetrachlorparabenzochinon (Chloranil), das in 96%iger Zubereitungsform als Beizmittel den Namen Spergon führt. Im vergangenen Jahre wurde von den Farbenfabriken Bayer A.G., Leverkusen, unter der Handelsbezeichnung Cerenox ein Spezialbeizmittel gegen Auflaufkrankheiten eingeführt. Es enthält 10 % des neuartigen Wirkstoffes Chinonoxim-benzoylhydrazon (COBH) und ist nicht nur gegen samenübertragbare Keimlingskrankheiten wirksam, sondern zeichnet sich besonders durch seine ausgeprägte Wirkung gegen bodenbürtige Infektionen aus.

### Beschreibung des Präparates

Chinonoxim-benzoylhydrazon (COBH) wurde uns von EWALD URSCHAT (4) zur Prüfung auf Eignung für Pflanzenschutz Zwecke übergeben. Die üblichen Teste in vitro verliefen negativ. Als Samenbeize ließ es bei Aussaatversuchen im Gewächshaus interessante Effekte erkennen, die uns zu eingehenderen Prüfungen veranlaßten.



COBH besitzt folgende Strukturformel  $\langle \rangle\text{-CO-NH-N}=\langle \rangle=\text{NOH}$  und hat ein Molekulargewicht von 241. Es fällt bei der Herstellung als gelbbraunes, geruch- und reizloses Pulver an. Die thermische Zersetzung tritt bei etwa 195 ° C ein. Durch Umlösen, z. B. aus Alkohol, wird COBH in gelben Kristallen erhalten, die sich bei 207 ° C zersetzen. Es ist in Wasser nur sehr wenig (5 mg/l), in Sodalösung oder verdünnten Laugen unter intensiver Rotbraunfärbung leicht löslich. In verschiedenen organischen Lösungsmitteln zeigt es eine mittlere, in Dimethylformamid eine gute Löslichkeit. COBH ist nicht flüchtig. Sein Dampfdruck ist außerordentlich niedrig. Bis zu 80 ° C konnten keine Meßwerte erhalten werden. Der Dampfdruck wird demnach bei 80 ° C auf höchstens  $10^{-5}$  Torr geschätzt.

Bei unseren Untersuchungen wurde das Präparat vorwiegend in Form eines feinkörnigen, hochhaftfähigen Pulvers mit Talkum gestreckt als Trockenbeizmittel angewandt. Teilweise wurde es auch unverdünnt oder in alkalischer Lösung als Naßbeize oder in Wasser suspendiert als Schlammbeize benutzt. Die Anwendungsform beeinflusst die Wirkung nicht. Seine fungistatische oder fungizide Wirksamkeit in vitro ist in unmittelbarer Einwirkung auf den Pilz außerordentlich gering und dürfte keine praktische Bedeutung haben. Erst in relativ hohen Konzentrationen oder Aufwandmengen zeigte das Präparat im Sporenkeimtest gegen *Phytophthora infestans* (MONT) DE BY. und *Venturia inaequalis* (COOK) ADERH. oder im Agarplattentest gegen das Myzelwachstum von *Coniophora cerebella* SCHROET., *Rhizoctonia solani* K., *Pythium debaryanum* HESSE, *Phoma betae* FRANK und verschiedene Schimmelpilze eine gewisse Wirkung. Die schwache Wirkung auf das Myzelwachstum von *Phoma* und *Pythium* auf Agarnährböden wurde auch nicht verstärkt, wenn das Präparat z. B. auf Rübenknäuel aufgetragen in das Nährsubstrat der Pilze eingedrückt wurde. Als Saatgut-Trockenbeizmittel gegen *Ustilago avenae* (PERS.) JENS., *U. nuda* (JENS.) KOST., *U. tritici* (PERS.) JENS., *Helminthosporium gramineum* RABH. und *Fusarium nivale* (CES.) SOR. angewandt, ist es auch in vivo praktisch wirkungslos. Der Effekt gegen *Tilletia tritici* (BJERK.) WINTER ist beachtlich, für eine praktische Anwendung aber nicht ausreichend. Demgegenüber zeigt COBH als Beizmittel gegen Auflaufkrankheiten verschiedener Sämereien eine hervorragende Leistungsfähigkeit.

### Beizversuche

#### Zucker- und Futterrüben

Die Aussaatversuche wurden im Gewächshaus mit normalem Zucker- rübensaatgut durchgeführt, das mehr oder weniger mit *Phoma betae* behaftet war. Dabei wurden mit zweifacher Wiederholung je 50 Rübenknäuel in 25 × 25 × 10 cm großen Holzkästen ausgelegt. Die Tiefenlage betrug 3 cm. Als Keimbett diente gewöhnliche Komposterde, die aus den verschieden-

artigsten Pflanzenabfällen gärtnerischer Großbetriebe entstanden und mit zahlreichen phytopathogenen Pilzen verseucht war. Unter verschiedenen Saatgutherkünften wurden solche ausgewählt, die einen hohen Pflanzenausfall durch Wurzelbrand brachten und auf Grund ihres Infektionsgrades und ihrer Anfälligkeit zur Verschärfung der Prüfungsbedingungen für die Beizmittelprüfung beitragen konnten. Der Wurzelbrand trat in den Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonaten bei Temperaturen um 12 bis 15 ° C, bei Kurztag und geringen Lichtintensitäten stets am stärksten auf. Deshalb wurden nach Möglichkeit auch diese weitgehend natürlichen Bedingungen eingehalten, die den Pilzen zuträglich sind und die verhindern, daß die Keimlinge zu schnell dem anfälligen Stadium entwachsen. Die Aussaat erfolgte in regelmäßiger Verteilung, die es beim Auflaufen der Pflanzen mit ausreichender Zuverlässigkeit erlaubte, die Pflanzen den einzelnen Rübenknäueln zuzuordnen und die Auszählung getrennt nach Auflaufstellen und Pflanzen vorzunehmen. Um Verzögerungen und Beschleunigungen der Keimung zu erfassen, wurde die Auszählung nach Beginn des Aufganges dreimal im Abstand von je zwei Tagen vorgenommen. Während des weiteren Versuchsverlaufes wurden täglich die durch Pilzbefall absterbenden Pflanzen entfernt und notiert. Nach drei bis fünf Wochen erreichten die Pflanzen mit der vollen Entwicklung ihrer ersten Laubblätter eine weitgehende Widerstandsfähigkeit gegen den Wurzelbrand, so daß in diesem Zeitraum die Endauswertung der Versuche vorgenommen werden konnte. Dabei wurde die Zahl der gesunden Auflaufstellen, die noch mindestens eine gesunde Pflanze aufwiesen, und die Gesamtzahl der gesunden Pflanzen je Kasten als entscheidendes Kriterium für die Leistungsfähigkeit der Beizmittel festgestellt. Ferner wurde noch die Zahl aller aufgelaufenen Pflanzen und die Zahl der nachträglich schwer erkrankten oder abgestorbenen Pflanzen ermittelt.

Vergleichende Versuche wurden mit COBH auf diese Weise in sehr großer Zahl durchgeführt, die durch experimentell nicht erfaßte Einflüsse graduell variierten, aber fast stets gleichsinnige Ergebnisse brachten. Deshalb wird es erlaubt sein, die Ergebnisse von einigen wenigen Versuchen (Tabellen 1, 2 und 3) für viele sprechen zu lassen.

Schon bei der ersten Auszählung, am 14. Tage nach der Aussaat, macht sich der Beizerfolg bemerkbar. Allerdings wird noch kein nennenswerter Unterschied zwischen Phenylmercuriacetat (PMA) und Chinonoxim-benzoylhydrazon deutlich. Demnach dürften die frühesten Infektionen beim Beginn der Keimung noch in gleichem Maße von PMA wie von COBH reduziert werden. Aber schon bei der zweiten Auszählung verschiebt sich das Bild zugunsten von COBH, das offenbar spätere Infektionen in weit stärkerem Maße ausschließt als PMA. Vom 16. bis zum 18. Tage sind aus dem ungebeizten Saatgut keine weiteren Pflanzen hervorgegangen, und von den bereits vorhandenen ging ein erheblicher Prozentsatz an Wurzelbrand zugrunde. Durch PMA und COBH wurde noch eine weitere Steigerung der Auflaufzahlen erzielt. Das deutet darauf hin, daß den Nachzüglern unter den Keimlingen im Anfang

ihrer Entwicklung noch eine Schutzwirkung zugute gekommen ist, die auf die entsprechend anhaltende Wirksamkeit der beiden Beizmittel auf der Saatgutoberfläche zurückgeführt werden muß. Im weiteren Verlauf des Versuches starben durch Wurzelband noch sehr viele ältere Pflanzen ab, die aus unbehandeltem oder PMA-gebeiztem Saatgut hervorgegangen waren, während die COBH-Beizung einen nachhaltigen Schutz gewährte. Daß in diesem Versuchsstadium PMA nicht mehr zur Auswirkung kommt, läßt auf bodenbürtige Infektionen außerhalb des eng begrenzten PMA-Beizhofes schließen. Andererseits läßt sich die nachhaltige Wirkung von COBH gegen diese bodenbürtigen Infektionen nicht mit einem größeren Beizhof des Präparates erklären, da seine geringe Flüchtigkeit und seine geringe Wasserlöslichkeit eine weitere Ausbreitung wirksamer Konzentrationen im Boden äußerst unwahrscheinlich machen. Unsere Vermutung, daß COBH vom quellenden Samen aufgenommen wird und die Keimpflanzen für eine gewisse Zeitspanne von innen her auch außerhalb des Beizhofes gegen Infektionen vom Boden her schützt, konnte durch spätere Versuche erhärtet werden.

Tabelle 1

Mehrkeimiges Zuckerrübensaatgut in gewöhnlicher, verseuchter Komposterde

Trockenbeize	Wirkst. Konz. in %	Aufwand- menge in g/kg	14. Tag		16. Tag		18. Tag		26. Tag			
			A	B	A	B	A	B	A	B	C	D
ungebeizt	—	—	34	58	46	76	32	48	20	20	26	56
PMA	2,2 Hg	6	42	68	56	110	62	116	40	60	24	62
COBH	2,5	6	40	74	66	150	68	154	74	160	0	10
COBH	5,0	6	42	70	64	152	70	146	70	142	0	16
COBH	10,0	6	46	78	78	164	80	166	80	172	0	0

A Zahl der gesunden Auflaufstellen, auf 100 Rübenknäuel bezogen.

B Zahl der gesunden Pflanzen, auf 100 Rübenknäuel bezogen.

C Zahl der abgestorbenen Auflaufstellen, auf 100 Rübenknäuel bezogen.

D Zahl der abgestorbenen Pflanzen, auf 100 Rübenknäuel bezogen.

In Tabelle 2 sind die Endergebnisse fünf (I bis V) weiterer, unter gleichen Bedingungen durchgeführter Rübenversuche zusammengestellt, die die Wirkung von COBH im Konzentrationsbereich von 0,01 bis 100 % erkennen lassen.

Die Variationsbreite der Ergebnisse ist zum Teil recht erheblich. Das ist aber bei der Fülle von Faktoren, die am Zustandekommen von Keimlingskrankheiten maßgeblich beteiligt sind, nicht überraschend und muß in Kauf genommen werden.

Die Leistungsunterschiede zwischen den beiden Präparaten kommen eindeutig zum Ausdruck. COBH kann bereits in 0,1%iger Konzentration einen deutlichen protektiven Effekt zeigen. Als 1%ige Beize erreicht oder übertrifft es bereits die Wirkung von 2,2 % Hg = 3,7 % PMA. Durch Erhöhung der Wirkstoffkonzentration auf 5 % oder auf 10 %, wenn die Aufwandmenge



auf 3 g je kg Saatgut reduziert wird, kann unter diesen erschwerenden Versuchsbedingungen noch eine weitere Wirkungssteigerung erzielt werden. Weitere Konzentrationserhöhungen bleiben ohne nennenswerte Auswirkung. Selbst wenn COBH unverdünnt zur Anwendung kommt, werden keine phytotoxischen Eigenschaften deutlich. Demnach erweisen sich Wirkungspotenz und chemotherapeutischer Index als außerordentlich günstig.

Tabelle 2

Mehrkeimiges Zuckerrübensaatgut in gewöhnlicher  
verseuchter Komposterde

Auswertung vier Wochen nach der Aussaat

Trockenbeize	Wirkst. konz. in %	Aufwand- menge in g/kg	Gesunde Auflaufstellen (A) und gesunde Pflanzen (B) in %									
			I		II		III		IV		V	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ungebeizt	—	—	34	60	18	33	50	75	47	83	26	47
PMA	2,2 Hg	6	56	115	37	52	57	96	66	136	52	111
COBH	0,01	6	—	—	—	—	—	—	49	85	—	—
COBH	0,1	6	59	111	—	—	—	—	50	122	—	—
COBH	1,0	6	82	168	40	76	54	98	59	142	70	162
COBH	2,5	6	—	—	40	62	76	172	—	—	60	137
COBH	5	6	77	165	62	124	82	168	65	149	77	181
COBH	10	3	74	151	—	—	86	170	68	155	75	179
COBH	10	6	72	163	—	—	—	—	—	—	—	—
COBH	15	6	—	—	66	150	84	190	76	178	61	143
COBH	20	6	72	166	—	—	—	—	—	—	—	—
COBH	50	6	62	135	—	—	—	—	62	132	73	170
COBH	100	6	75	155	—	—	—	—	—	—	—	—

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Endergebnisse eines Rübenversuches aufgeführt, der mit verschiedenen Saatgutmustern angelegt wurde. Hier zeigt sich deutlich, wie stark das Wurzelbrandauftreten und die Auswirkung der Beizung von Sorte und Herkunft des Saatgutes beeinflusst werden können, wenn die übrigen Bedingungen gleich sind. Allerdings muß die Frage offenbleiben, ob es genetische oder anamnestische Faktoren des Saatgutes sind, die hier zur Auswirkung gelangt sind. Der Versuch wurde im Juli durchgeführt. Da unter sommerlich hohen Temperaturen und Lichtverhältnissen in der Regel kein Wurzelbrandbefall auftritt, der signifikante Auswirkungen der Beizung erkennen läßt, wurden die Holzkästen nach der Aussaat für zehn Tage bei einer Temperatur von 8 ° C und einer relativen Luftfeuchte von 95 % in einer Klimakammer aufgestellt. Dadurch wurde die Keimung verzögert und das anfällige Entwicklungsstadium der Keimlinge zeitlich ausgedehnt. Von 11. Tage an wurden die Kästen den sommerlichen Gewächshausbedingungen ausgesetzt. Der Auflauf begann am 12. Tage und war am 15. Tage praktisch vollständig. Die Entwicklung der Pflanzen machte sehr schnelle Fortschritte. Am 31. Tage wurde der Versuch ausgewertet. Im übrigen war die Versuchsanlage die gleiche, wie vorher beschrieben.

Tabelle 3

Verschiedene Rübensaatgutmuster in gewöhnlicher,  
verseuchter Komposterde

Saatgutsorte	Zahl der gesunden Pflanzen aus 50 (a und b) bzw. 100 (c) Rübenknäueln nach 31 Tagen					
	ungebeizt		2,2 % Hg als PMA 6 g/kg		10 % COBH 3 g/kg	
	a u. b	c	a u. b	c	a u. b	c
Zuckerrüben, Sorte unbekannt	12 8	20	23 26	49	45 61	106
Svalöfs Barres	5 4	9	41 30	71	27 44	71
Orig. Halbzucker CB	13 5	18	7 5	12	43 37	80
Dt. Barres	8 9	17	25 44	69	42 45	87
Olivfarb. oder gelbe Flaschen	14 4	18	28 11	39	26 41	67
Original Grünkopf CB	0 2	2	27 28	55	45 41	86
Weibulls rote Eckendorfer St. 11	1 1	2	10 29	39	31 43	74
Svalöfs Rubra II	33 22	55	20 32	52	43 18	61
Altenburger Tonnen	4 11	15	47 31	78	35 59	94
Babolnai sarga henger	4 6	10	30 31	61	15 17	32
Criewener gelbe	6 7	13	35 11	46	29 29	58
Productiva	58 15	73	35 42	77	38 54	92
Remlinger	4 0	4	29 35	64	50 24	74
Dickwanst	32 23	55	75 25	100	49 33	82

### Erbsen

Die Erbsenversuche wurden in ähnlicher Weise wie die Rübenversuche angelegt: 50 Erbsen je Kasten in 3 cm Tiefenlage in natürlich stark verseuchter Komposterde mit zweifacher Wiederholung. Als Saatgut wurden bei sehr zahlreichen Versuchen vorwiegend Markerbsen benutzt. Sie brachten

die stärksten Ausfälle durch Faulen der Keimlinge im Boden und ermöglichten daher die schärfste Beizmittelpfung. Die Erbsenversuche waren in weit geringerem Maße von niedrigen Temperaturen abhängig als die Rübenversuche. Selbst bei Temperaturen bis zu 20° C und gelegentlich darüber blieb der Auflauf des unbeizten Saatgutes in dem stark verseuchten Boden sehr gering, so daß auch dann noch die Versuchsbedingungen als scharf angesehen werden konnten. Die Auswertung begann mit der Zählung der Pflanzen, die dreimal im Abstand von je zwei Tagen nach dem Aufgang vorgenommen wurde. Im weiteren Verlauf des Versuches wurden die absterbenden Pflanzen registriert. Bei der Endauswertung nach drei bis vier Wochen wurden die Pflanzen einzeln ausgegraben, um auch die kranken Pflanzen zahlenmäßig erfassen zu können. Der Abbruch der Versuche nach dieser Zeit erscheint gerechtfertigt, weil dann in der Regel keine weiteren Erkrankungen mehr eintreten. Die Zahl der gesunden Pflanzen, die bei Versuchsabschluß aus 100 ausgelegten Samen hervorgegangen waren, wurde als Endergebnis angesehen. In der nachfolgenden Tabelle 4 ist ein Beispiel für den durchschnittlichen Versuchsablauf gegeben.

Tabelle 4

Markerbsen Alderman E 53 in gewöhnlicher, verseuchter Komposterde

Beizmittelaufwandmenge: einheitlich 2 g/kg Saatgut

Trockenbeize	Wirkst. Konz. in %	10. Tag	12. Tag	14. Tag	24. Tag	
		A	A	A	A	B
ungebeizt	—	12	19	20	9	14
PMA	2,2 Hg	53	61	61	39	22
COBH	5	72	80	83	78	7
COBH	10	70	78	78	79	2
COBH	15	75	85	87	79	8

A = Zahl der gesunden Pflanzen, die aus 100 Samen hervorgegangen sind.

B = Zahl der kranken und abgestorbenen Pflanzen, die aus 100 Samen hervorgegangen sind.

Aus 77 % der ungebeizten Erbsen haben sich keine Keimlinge entwickelt, die die 3 cm dicke Bodenschicht durchstoßen konnten. Sie wurden offenbar sehr frühzeitig infiziert und verfaulten bereits im Boden. Von den aufgelaufenen Pflanzen zeigte in dem Zeitraum vom 14. bis 24. Tage der überwiegende Teil schwere Krankheitssymptome, die wir auf eine spätere bodenbürtige Infektion zurückführen. Nur neun Pflanzen blieben so gesund, daß eine normale Weiterentwicklung erwartet werden konnte. Durch Beizung des Saatgutes mit PMA wurde offenbar die früheste Infektion der keimenden Samen in starkem Maße ausgeschaltet, so daß 61 Keimlinge aus 100 Samen die Bodenoberfläche erreichten, von denen aber nachträglich noch relativ viele, nämlich 22, durch spätere Infektionen vom Boden her schwer erkrankten oder abstarben. Durch COBH dagegen wurde sowohl der Aufgang als auch das Endergebnis wesentlich verbessert. Das läßt darauf schließen, daß COBH



den Keimling nicht nur am Anfang seiner Entwicklung, wenn er die Samenschale durchbricht, vor Infektionen schützt, sondern auch noch einige Tage später, wenn er bereits aus dem Beizhof herausgewachsen ist. Der Schutz, den die jungen Keimpflanzen durch die COBH-haltigen Beizmittel gegen bodenbürtige Infektionen erfahren, überbrückt fast vollständig das anfällige Entwicklungsstadium der Erbse. Von den 84 Pflanzen, die durchschnittlich aus COBH-gebeizten Samen aufkamen, erkrankten nachträglich nur sechs, so daß als Endergebnis 78 gesunde Pflanzen erhalten wurden. Derartige Versuche wurden in großer Zahl durchgeführt und brachten stets gleichsinnige Ergebnisse. In Tabelle 5 sind die Endergebnisse von zehn Versuchen, die für viele sprechen, zusammengestellt.

Tabelle 5

Markerbsen Alderman E 53 in gewöhnlicher, verseuchter Komposterde

Beizmittelaufwandmenge einheitlich 2 g/kg Saatgut

Auswertung drei bis vier Wochen nach der Aussaat

Trockenbeize	Wirkst. Konz. in %	Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen									
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
ungebeizt	—	1	2	4	1	12	1	3	8	1	5
PMA	2,2 Hg	45	46	51	32	48	51	15	41	38	44
COBH	0,01	2	—	2	—	—	—	—	—	—	—
COBH	0,05	—	—	29	—	—	—	—	—	—	—
COBH	0,1	23	—	45	35	38	39	54	—	—	49
COBH	0,5	—	—	64	68	—	—	73	—	68	70
COBH	1,0	90	67	74	66	50	62	65	84	—	69
COBH	2,5	—	85	—	82	—	—	83	—	66	87
COBH	5	—	92	88	72	—	—	77	—	72	78
COBH	10	91	84	82	81	82	83	75	84	74	78
COBH	15	—	89	—	84	—	—	—	—	—	—
COBH	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75
COBH	30	85	—	—	81	—	—	—	—	—	77
COBH	50	84	66	—	66	—	—	—	64	68	65
COBH	100	81	—	—	—	85	59	—	—	—	—

COBH zeigt bereits in 0,1%iger Konzentration, in der üblichen Weise als Trockenbeize angewandt, einen deutlichen Effekt, der demjenigen des PMA nahekommt. Durch Erhöhung des Wirkstoffgehaltes in der Beize bis auf 2,5 % wird eine weitere wesentliche Wirkungssteigerung erzielt, wobei die höhere Leistungsfähigkeit von COBH gegenüber PMA bei gleicher Konzentration signifikant zum Ausdruck kommt. Weitere Konzentrationserhöhungen verstärken den Effekt nur noch geringfügig. Negative Einflüsse auf das Pflanzenwachstum wurden nicht beobachtet, es trat im Gegenteil oft eine Wuchsförderung ein. Erst bei Anwendung von unverdünntem oder auf 50 % gestrecktem Wirkstoff war in manchen Fällen ein gewisser Erfolgsmrückgang zu verzeichnen, den wir aber nicht auf phytotoxische Tendenzen des Präparates zurückführen konnten. Im Durchschnitt von neun Versuchen, bei

denen der 100%ige Wirkstoff schlechtere Ergebnisse brachte als die 10%ige Trockenbeize, ergaben sich nämlich folgende interessante Zahlen gesunder Pflanzen:

Tabelle 6

Beizmittel	Erste Zählung	Endergebnis
10 % COBH	76	80
100 % COBH	68	59
Differenz	8	21

Die Differenz in der Anzahl der Pflanzen, die bei der ersten Zählung die Bodenoberfläche durchstoßen hatten und gesund erschienen, könnte auf eine durch die Überdosierung verursachte Keimverzögerung oder Wuchshemmung hinweisen, wenn sich diese Differenz nicht im weiteren Verlauf der Versuche durch eine höhere Befallsrate vergrößert hätte und im Habitus der gesunden Pflanzen irgendwelche Unterschiede aufgetreten wären. So aber liegt die Deutung näher, daß bei der starken Überdosierung von COBH eine eigentümliche Verringerung des Infektionsschutzes eingetreten ist, für die der Grund in dem besonderen Wirkungsmechanismus des Präparates gesucht werden muß, das ja nur unter Mithilfe der Pflanze wirksam wird.

Tabelle 7

Verschiedene Saatgutmuster von Markerbsen (Handelsware)  
in gewöhnlicher, verseuchter Komposterde  
Beizmittelaufwandmenge einheitlich 2 g/kg Saatgut

Saatgutsorte	Zahl der gesunden Pflanzen aus 50 (a und b) bzw. 100 (c) Samen nach 3 Wochen					
	ungebeizt		2,2% Hg als PMA		10% COBH	
	a u. b	c	a u. b	c	a u. b	c
Alderman E 1953	12		16		33	
1. Lieferung	10	22	18	34*	30	63
Alderman E 1953	1		28		31	
2. Lieferung	0	1	29	57	25	56
Alderman E 1954	20		25		42	
	14	34	29	54	39	81
Onward E 1954	12		23		47	
	8	20	31	54	41	88
Senator E 1954	3		2		25	
	6	9	1	3	18	43
Van Waverens	17		30		38	
Juwel, Hochzucht E 1954	15	32	26	56	38	76
Lincoln E 1954	19		35		50	
	22	41	40	75	48	98
Wunder von Kelvedon	6		12		31	
E 1954	7	13	10	22	29	60

In Tabelle 7 sind die Endergebnisse eines Erbsenversuches mit acht verschiedenen Saatgutmustern aufgeführt, die erkennen lassen, in welchem Maße der Beizerfolg vom Saatgut mitbestimmt wird. Es wurden sechs verschiedene

Sorten von Markerbsen geprüft. Bei diesen kann nicht gesagt werden, inwieweit die aufgetretenen Unterschiede Sorteneigentümlichkeiten darstellen oder auf Umwelteinflüsse bei der Entwicklung und der Lagerung der Samen zurückgeführt werden müssen. Von der Sorte Alderman wurden drei Lieferungen vergleichend geprüft, wovon zwei aus dem gleichen Erntejahr (1953) stammten. Sie geben ein Beispiel für die Bedeutung der Anamnese des Saatgutes für den möglichen Beizerfolg unabhängig von der Sorte. Der Versuch wurde in gleicher Weise wie die vorher beschriebenen angelegt.

### Bohnen

Die Beizversuche mit Bohnen wurden in gleicher Weise angelegt wie mit Erbsen. Stark verseuchte Komposterde und durch relativ niedrige Temperaturen verzögerte Keimung stellten verschärfende Prüfungsbedingungen dar. Die Versuche mit Erbsen und Bohnen nahmen den gleichen Verlauf.

In Tabelle 8 sind einige Endergebnisse als Beispiele für den durchschnittlichen Versuchsausgang zusammengestellt.

Tabelle 8

Verschiedene Saatgutproben von Bohnen (Handelsware)  
in gewöhnlicher, verseuchter Komposterde  
Beizmittelaufwandmenge einheitlich 2 g/kg Saatgut

Saatgutsorte	Ernte- jahr	Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen nach 3 Wochen		
		ungebeizt	2,2 Hg als PMA	10% COBH
Buschbohne St. Andreas	1954	24	76	68
Wachs Rheinland	1954	3	35	52
Hundert für Eine	1954	21	31	51
Wachs Bitterhoffs Füllhorn	1954	32	71	80
Zucker-Perl Perfection	1954	33	48	68
Wachs Beste von Allen	1954	10	59	98
Saxa ohne Fäden	1954	41	90	85
Konserva weißgrundig	1954	15	47	82
Dickfleischige Zucker Brech.	1954	23	86	98
Kaiser Wilhelm Riesen	1954	18	80	90
Kaiser Wilhelm Riesen	1952	50	80	94
Doppelte holl. Prinzeß	1953	49	64	84
unbekannt	1954	17	20	44
Stangenbohne Ruhm v. Vorgebirge	1952	3	81	92

Auch die Bohnenversuche in verseuchter Erde lassen durchweg die Überlegenheit von COBH gegenüber PMA erkennen. Nur bei starkem Befall des Saatgutes mit *Colletotrichum lindemuthianum* SACC. u. MAY. verschiebt sich das Bild, wenn dieser Pilz als Keimlingskrankheit auftritt. In Tabelle 9 sind einige Versuchsergebnisse mitgeteilt. Die Bohnen A ohne sichtbare Brennflecken und die stark fleckigen Bohnen B wurden aus der gleichen Saatgutpartie ausgelesen. Mit C wurde ein anderes Saatgut bezeichnet, das selbst keine fleckigen Samen enthielt, aber aus stark fleckigen Hülsen stammte.



Tabelle 9

Bohnen in gewöhnlicher, verseuchter Komposterde

Bohnensaatgut	Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen 4 Wochen nach der Aussaat			
	ungebeizt	2,2% Hg als PMA 2 g/kg	10% COBH 2 g/kg	10% COBH + 3% Hg als PMCI <sup>1)</sup> 2 g/kg
A nicht fleckig	56	80	86	—
B fleckig	0	72	54	—
C nicht fleckig	58	95	79	95

<sup>1)</sup> Dieses Präparat, das 10 % COBH und 3 % Hg als Phenylmerkurichlorid enthält, ist unter dem Namen „Cerenox-Spezial“ im Handel.

Gegen die als Keimlingskrankheit auftretende Brennfleckenkrankheit der Bohne, insbesondere wenn das Saatgut bereits deutliche Krankheitssymptome aufweist, zeigen sich organische Merkurverbindungen wirksamer als COBH. Die Vereinigung beider Wirkstofftypen scheint hier den sichersten Erfolg zu bringen. Ähnliche Wirkungsverhältnisse liegen bei der Bekämpfung der Blattfleckenkrankheit der Rübe (*Cercospora beticola* SACC.) vor, soweit die Übertragung mit dem Saatgut eine Rolle spielt. Auch hier hat sich die Wirkstoffkombination am besten bewährt.

### Verschiedene Sämereien

Nicht nur Rüben und Leguminosen leiden unter bodenbürtigen Keimlingskrankheiten, sondern darüber hinaus auch die meisten anderen Sämereien. Sofern es sich dabei um ähnliche Erreger handelt, war zu erwarten, daß COBH unter geeigneten Voraussetzungen auch hier seine ihm eigentümliche Schutzwirkung entfaltet. Um diese Vermutung zu erhärten, wurden einige orientierende Versuche durchgeführt, und zwar mit mehreren Partien verschiedener, mit pathogenen Keimen behafteter Saatgutarten. Ein wesentlicher, prüfungsverschärfender Faktor, der in der Krankheitsanfälligkeit des Saatgutes liegt, blieb allerdings bei der Auswahl des Saatgutes für diese Versuche unberücksichtigt. Deshalb konnte von vornherein nicht erwartet werden, daß ebenso krasse Leistungsunterschiede zwischen den beiden Präparaten erkennbar werden wie bei Verwendung besonders empfindlicher Saatgutpartien. In Tabelle 10 sind einige Endergebnisse zusammengestellt, die unter entsprechenden Bedingungen gewonnen wurden, wie sie für die Rüben- und Erbsenversuche angegeben wurden.

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß COBH seine Schutzwirkung bei den verschiedensten Saatgutarten zu entfalten vermag, sofern sie dem Einfluß pathogener Pilze ausgesetzt sind, die zum Wirkungsspektrum von COBH gehören.

Tabelle 10

Verschiedene Saatgutarten in gewöhnlicher Komposterde

Saatgut	Beizmittel- aufwand- menge in g/kg Saatgut	Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen 3-4 Wochen nach der Aussaat		
		ungebeizt	2,2% Hg als PMA	10% COBH
Lein	2	72	87	91,5
	2	40	52	71,5
	2	35,5	54,5	66,8
	2	70	80	89
	2	64	82	78
	2	48,5	64,5	69
	2	70	88,5	80,5
Baumwolle mit Fasern	6	30	37	55
	6	74	84	88
	6	52	76	76
	6	30	46	49,5
	6	26	62	58
	6	20	44	56
	6	62	64	72
	6	46	56	60
	6	50	54	72
entfasert mit Fasern	6	64	70	66
	6	64	70	66
Mais	2	22	42	46
	2	12	62	60
Senf	2	52	70	76
Gurken	2	19	35	59
Tomaten	2	46	76	74
Zierlupinen	2	22	28	50

## Bodenbehandlung

Die überraschend hohe Wirksamkeit von COBH als Beizmittel gegenüber gewissen phytopathogenen Bodenzpilzen ließ die Anwendung des Präparates als Bodendesinfektionsmittel erfolgversprechend erscheinen. Es wurden deshalb einige Versuche unter den üblichen Gewächshausbedingungen mit gewöhnlicher Komposterde, sterilisiert und nicht sterilisiert, mit Erbsensaatgut, gebeizt und ungebeizt, und entsprechender Bodenbehandlung durchgeführt. Die pulverförmigen Wirkstoffe wurden dem Boden gleichmäßig zugemischt. Geringere Aufwandmengen als 20 kg/ha – 2 g/m<sup>2</sup> brachten keinen nennenswerten Effekt. Die behandelte Bodenschicht hatte eine Tiefe von 10 cm, so daß 2 g/m<sup>2</sup> = 20 g/m<sup>3</sup> Boden zu setzen sind. Die Ergebnisse einer Versuchsreihe enthält Tabelle 11 A. 10 g COBH/m<sup>2</sup> sind effektiv, jedoch wird weder die Wirkung der gleichen Menge Hg als PMA noch diejenige der COBH-Saatgutbeizung erreicht. Zwei Wochen später wurden nach Entfernung der Pflanzen erneut Erbsen in die gleichen Kästen eingesät, um die

Nachwirkung der Präparate im Boden zu erfassen. Die Ergebnisse der Tabelle 11 B lassen eine Nachwirkung von COBH im Boden erkennen, die jedoch deutlich schwächer ist als unmittelbar nach der Bodenbehandlung.

Tabelle 11  
Markerbsen Alderman E 53

Lfd. Nr.	Keimmedium Komposterde	Saatgut- behandlung	Boden- behandlung	A	B
				Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen bei Bodenbehandlg. unmittelbar vor der Aussaat	14 Tage vor der Aussaat
1	sterilisiert	keine	keine	76	88
2	sterilisiert	2,2% Hg als PMA 2 g/kg	keine	80	83
3	sterilisiert	10% COBH 2 g/kg	keine	86	85
4	nicht sterilisiert	keine	keine	12	3
5	nicht sterilisiert	2,2% Hg als PMA 2 g/kg	keine	48	29
6	nicht sterilisiert	10% COBH 2 g/kg	keine	80	57
7	nicht sterilisiert	keine	PMA 20 kg/ha	36	3
8	nicht sterilisiert	keine	PMA 100 kg/ha	87	65
9	nicht sterilisiert	keine	COBH 20 kg/ha	24	13
10	nicht sterilisiert	keine	COBH 100 kg/ha	58	26

Da COBH *in vitro* außerhalb der Pflanze gegen Pilze keine Wirkung entfaltet, ist es unwahrscheinlich, daß das Präparat bei der Einbringung in den Boden desinfizierend wirkt. Es ist vielmehr anzunehmen, daß es von den Wurzeln aufgenommen wird und intraplantär zur Wirkung kommt. Dann müßte die festgestellte 14tägige Nachwirkung auf eine entsprechende Restmenge von COBH im Boden hinweisen und nicht auf eine Desinfektionswirkung mit anschließender, unvollständiger Regeneration der Bodenflora. Diese Deutung der Ergebnisse findet ihre Bestätigung durch folgenden Aussaatversuch, der bei einer konstanten Lufttemperatur von 15 ° C ohne direkte Sonneneinstrahlung bei winterlichem Tageslicht in einem Klimagewächshaus durchgeführt wurde. In gewöhnliche verseuchte Komposterde, mit 25 g/m<sup>3</sup> und 100 g/m<sup>3</sup> COBH behandelt, wurden ungebeizte Erbsen und in unbehandelte Komposterde zum Vergleich sowohl ungebeizte wie mit PMA und COBH gebeizte Erbsen eingesät. Weitere Komposterde, mit 50 bzw. 200 g COBH/m<sup>3</sup> vermischt, wurde bereitgestellt für eine zweite Aussaat nach vier Tagen, eine dritte Aussaat nach zehn Tagen und eine vierte Aussaat nach 20 Tagen. Unmittelbar vor der jeweiligen Aussaat wurde die behandelte Komposterde im Verhältnis 1 : 1 mit unbehandeltem Kompost gestreckt, der ebenfalls unter den gleichen Bedingungen im klimatisierten Gewächshaus gelagert worden war. Die Anzahl gesunder Pflanzen aus 100 Samen, die jeweils drei Wochen nach der Aussaat ermittelt wurde, enthält für jedes Versuchsglied Tabelle 12. Die Wirkungsabnahme der COBH-Bodenbehandlung mit der Zeit läßt hier eindeutig einen Verlust an wirksamer Substanz im Boden erkennen.



Die besonderen Wirkungspotenzen, die COBH bei der Anwendung als Saatgutbeize erkennen läßt, kommen bei der Einarbeitung in den Boden nicht zum Ausdruck. Das läßt darauf schließen, daß COBH im Boden keine Desinfektionswirkung entfaltet, daß der Schutz des Keimlings von der Wirkstoffkonzentration am Samen stärker bestimmt wird als von der Wirkstoffmenge im Boden und daß möglicherweise ein intraplantärer Effekt vorliegt.

Tabelle 12

Aussaatversuch mit Markerbsen „Wunder von Kelvedon“ mit Bodenbehandlung

Lfd. Nr.	Bodenbehandlung	Saatgutbehandlung	Gesunde Pflanzen aus 100 Samen 3 Wochen nach der Aussaat			
			1. Auss.	2. Auss.	3. Auss.	4. Auss.
1	keine	keine	3	1	6	1
2	keine	2,2 % Hg als PMA 2 g/kg	4	5	15	12
3	keine	10 % COBH 2 g/kg	40	42	49	50
4	COBH 25 g/m <sup>3</sup>	keine	18	11	10	5
5	COBH 100 g/m <sup>3</sup>	keine	31	28	17	4

### Wirkungsweise von COBH

Für die bisher beschriebenen Versuche wurden bewußt solche Bedingungen gewählt, die beim praktischen Anbau der verschiedenen Kulturpflanzen häufig gegeben sind und die höchsten Anforderungen an die Wirksamkeit der Beizmittel stellen. Es wurde nach Möglichkeit kontaminiertes und anfälliges Saatgut benutzt. Der Boden war stark mit den verschiedensten Erregern von Pflanzenkrankheiten verseucht, und die Licht- und Temperaturverhältnisse waren für das Pflanzenwachstum relativ ungünstig und für das Zustandekommen von Keimlingskrankheiten weitgehend optimal. Die Ergebnisse dieser sehr zahlreich durchgeführten Versuche sind nicht nur im Hinblick auf die praktische Anwendung von COBH aufschlußreich, sondern sie liefern auch für die Aufklärung des Wirkungsmechanismus' des Präparates interessante Hinweise. Es ist bemerkenswert, daß COBH als schwermetallfreie, rein organische Verbindung mit hoher Pflanzenverträglichkeit gegen gewisse pilzliche Pflanzenkrankheiten weitaus wirksamer ist als PMA. PMA ist eine von denjenigen organischen Quecksilberverbindungen mit besonderer Wirkung gegen Auflaufkrankheiten und hoher universeller fungizider Potenz, die kaum übertroffen werden kann. Daraus läßt sich schließen, daß hier die Bedeutung der Desinfektionsleistung für den Beizerfolg hinter andersartigen Fähigkeiten zurücktritt. Diese Fähigkeiten von COBH scheinen nach den bisher mitgeteilten Versuchsergebnissen darin zu liegen, daß seine Schutzwirkung länger anhält. Damit erhebt sich die Frage nach der Stabilität, den Adsorptionsverhältnissen und der Ausbreitung der Wirkstoffe im Boden oder nach einem systemischen Effekt. Da ferner PMA in den benutzten Konzen-

trationen und Aufwandmengen die dem Saatgut äußerlich anhaftenden pilzlichen Krankheitserreger im feuchten Boden sehr schnell und vollständig abtötet, liegt die Vermutung nahe, daß die späteren Infektionen, gegen die nur noch COBH wirksam ist, vom Boden ausgehen. Die Bedeutung der bodenbürtigen Infektionen für die unterschiedliche Leistungsfähigkeit von COBH und PMA konnte durch Einbeziehung sterilisierter Böden in die Versuche geklärt werden.

Als verseuchtes Keimbett wurde gewöhnliche Komposterde benutzt und als nicht pathogenes Medium entweder ausgewaschener Flußsand oder die gleiche Komposterde nach zweimaligem Erhitzen für zwei Stunden auf 90 ° C im Abstand von 48 Stunden im Sterilo Typ 7 K der Fa. Will Teuwen, Konstanz. Die vergleichenden Versuche wurden stets mit dem gleichen Saatgut unter sonst völlig gleichen Bedingungen und gleichzeitig durchgeführt. Die Anlage und Auswertung erfolgte in der üblichen Weise.

*Tabelle 13*  
Mehrkeimiges Zuckerrübensaatgut

Ver. Nr.	Bodenart	Gesunde Auflaufstellen (A) und gesunde Pflanzen (B) in % der ausgelegten Knäuel 4 bis 5 Wochen nach der Aussaat					
		ungebeizt		2,2% Hg als PMA 6 g/kg		10% COBH 3 g/kg	
		A	B	A	B	A	B
1 a	Komposterde, gewöhnliche	32	32	70	118	82	144
b	Flußsand, gewaschen	64	110	86	146	76	153
2 a	Komposterde, gewöhnliche	46	62	68	130	79	140
b	Flußsand, gewaschen	64	110	86	146	76	153
3 a	Komposterde, gewöhnliche	52	94	68	152	78	176
b	Komposterde, sterilisierte	56	124	82	180	60	134
4 a	Komposterde, gewöhnliche	22	37	42	76	59	126
b	Komposterde, sterilisierte	49	114	73	179	69	163
5 a	Komposterde, gewöhnliche	51	103	63	148	74	172
b	Komposterde, sterilisierte	55	130	73	168	62	138
6 a	Komposterde, gewöhnliche	51	84	42	84	63	116
b	Komposterde, sterilisierte	74	159	77	176	83	171
7 a	Komposterde, gewöhnliche	58	110	67	159	73	159
b	Komposterde, sterilisierte	64	148	79	186	72	162

Die Ergebnisse der Rüben- und Erbsenversuche sind völlig gleichsinnig. In verseuchter Komposterde entfalten die beiden Beizmittel ihre typische Schutzwirkung gegen Keimlingskrankheiten, deren Erreger zum Teil dem Saatgut anhaften und zum Teil in der Komposterde enthalten sind. Durch Verwendung von sterilisierter Komposterde oder reinem Sand wurde in den jeweiligen Parallelversuchen (b) die Möglichkeit einer bodenbürtigen Infektion ausgeschaltet, so daß nur noch die samenbürtige Infektion und die Auswirkung der beiden Beizmittel auf diese in Erscheinung treten konnte. Hier drückt sich in der Mehrzahl der Versuche die erfolgte samenbürtige Infektion durch die geringere Zahl gesunder Pflanzen aus, die aus ungebeiztem Saatgut

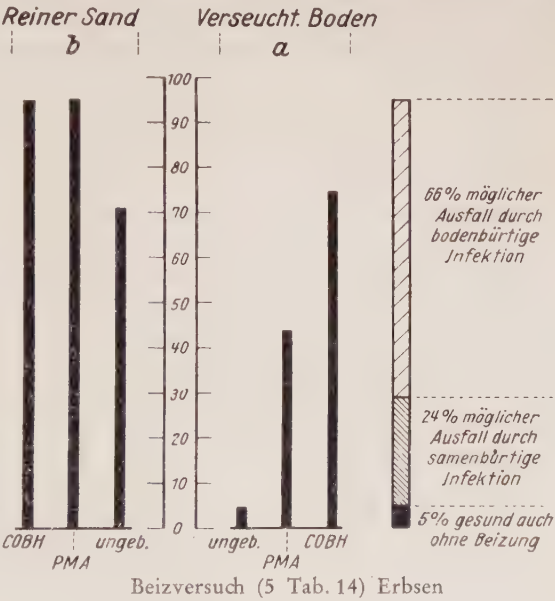
Tabelle 14

Beizmittelaufwandmenge einheitlich 2 g/kg Saatgut  
Markerbsen Alderman

Vers. Nr.	Bodenart		Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen 3 bis 4 Wochen nach der Aussaat		
			ungebeizt	2,2 % Hg als PMA	10 % COBH
1 a	Komposterde,	gewöhnliche	4	37	73
b		sterilisierte	67	88	82
2 a	Komposterde,	gewöhnliche	10	43	56
b		sterilisierte	83	89	87
3 a	Komposterde,	gewöhnliche	39	55	84
b		sterilisierte	81	87	85
4 a	Komposterde,	gewöhnliche	10	46	82
b		sterilisierte	86	86	92
5 a	Komposterde,	gewöhnliche	5	44	75
b	Flußsand,	gewaschen	71	95	95

hervorgegangen sind. Beide Beizmittel vermögen den Krankheitsbefall weitgehend auszuschalten, zeigen aber hier praktisch keine Leistungsunterschiede mehr. Demnach zeichnet sich COBH im Vergleich zu PMA durch seine überlegene Wirksamkeit gegen bodenbürtige Infektionen aus.

Als Beispiel für die quantitativen Wirkungsverhältnisse soll nachfolgend der Erbsenversuch 5, Tabelle 14, etwas eingehender interpretiert und an Hand des Diagramms veranschaulicht werden. In reinem Sand sind aus 100 gebeizten Erbsen 95 gesunde Pflanzen hervorgegangen. Das ungebeizte Saatgut brachte 71 gesunde Pflanzen. Demnach verursachten die pathogenen Keime am ungebeizten Saatgut einen Ausfall von 24 Pflanzen, der durch die Beizung vermieden werden konnte. Da in versuchter Komposterde fünf der aus 100 ungebeizten Erbsen hervorgegangenen Pflanzen auch ohne chemischen Schutz gesund blieben, ließ eine ausschließliche Saatgutoberflächendesinfektion im gleichen Boden 5 + 24 = 29 gesunde Pflanzen erwarten. Durch die PMA-Beizung wurden aber 44 Pflanzen gesund erhalten und durch Saatgutbehand-





lung mit COBH 75. Demnach hat PMA 15 und COBH 46 Keimlinge vor der Infektion vom Boden her schützen können. Bei gleicher Wirksamkeit gegen samenbürtige Keimlingsfäule zeigt hier COBH im Vergleich zu PMA die dreifache Wirksamkeit gegen bodenbürtige Infektionen. Es ist zu vermuten, daß COBH bei der Quellung und Keimung der Samen in die Keimpflanzen eindringt und hier einen Infektionsschutz gewährt, der auch dann noch wirksam ist, wenn der Keimling dem Beizhof bereits entwachsen ist. PMA dagegen schützt offenbar den Keimling vor bodenbürtigen Infektionen nur so lange, als er sich innerhalb des Beizhofes befindet, der sich nur auf einen kleinen Bereich um das Samenkorn ausdehnt. Für die Aufnehmbarkeit von COBH durch die Pflanze spricht auch die Braunfärbung des Xylems, die bis zu mehreren Zentimetern Höhe eintritt, wenn junge Erbsenpflanzen mit ihren unverletzten Wurzeln in eine schwach alkalische COBH-Lösung eingestellt werden. Dabei wurde die Konzentration der Lösung mit 0,01 ‰ so gewählt, daß noch keine Schäden an den Pflanzen erkennbar wurden. Der nachfolgend geschilderte Erbsenversuch (Tabelle 15) gibt in dieser Richtung weitere Aufschlüsse.

Markerbsen Alderman wurden zum Teil ungebeizt (1) und zum Teil mit 2,2 ‰ Hg als PMA (2), 10 ‰ COBH (3) und 100 ‰ COBH (4) in einer Aufwandmenge von 2 g je kg Saatgut in der üblichen Weise trocken gebeizt. Die Aussaat erfolgte mit zweimal 50 Samen je Versuchsglied in Holzkästen, die zum Teil mit gewöhnlicher verseuchter Komposterde und zum Teil mit der gleichen Erde, die im Sterilo zweimal im Abstand von 48 Stunden bei 90 ° C sterilisiert wurde, gefüllt waren. Die Kästen wurden im ungeheizten Gewächshaus bei sommerlichen Temperaturen um 20 ° C aufgestellt.

Ein, drei und fünf Tage nach der Aussaat wurde jeweils ein Teil der mittlerweile gequollenen bzw. gekeimten Erbsen vorsichtig, ohne sie zu verletzen, aus ihrem Saatbett entfernt und auf einem Sieb unter der Brause mit Wasser sorgfältig abgewaschen. Dadurch wurde der Beizhof mit der anhaftenden Erde vollständig beseitigt und auch eine weitgehende Entfernung der noch auf den Samen vorhandenen Wirkstoffe erreicht. Anschließend wurden die gequollenen Samen bzw. die jungen Keimpflanzen in andere Erde umgepflanzt. In der Versuchsreihe A erfolgte die Umpflanzung aus sterilisierter Erde wieder in sterilisierte Erde. In der Versuchsreihe B wurde aus sterilisierter Erde in gewöhnliche Komposterde umgepflanzt. In Versuchsreihe C erfolgte die Umpflanzung aus gewöhnlicher Komposterde in sterilisierte, und in Versuchsreihe D wurde von gewöhnlicher Komposterde wieder in gewöhnliche Komposterde umgepflanzt. Die Versuchsreihen A und D wurden zum Vergleich angelegt und sollen die möglichen Extremfälle für die Saatgutbehandlungen 1—4 und die Umpflanzungen I—III ohne und mit Infektionsquellen im Boden charakterisieren. Die Zahlen der gesunden Pflanzen, die aus jeweils 100 Samen nach 18tägiger Versuchsdauer hervorgegangen sind, enthält Tabelle 15.

In sterilisierter Erde (Versuchsreihe A) ist kein nennenswerter Krankheitsbefall aufgetreten. Es ist also auch keine samenbürtige Infektion erfolgt. Die Beizung mußte daher ohne Auswirkung bleiben. 100 ausgelegte Erbsen

Tabelle 15

Erde und Beizmittel		Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 ausgelegten Erbsen 18 Tage nach der Aussaat		
		I	II	III
		gewaschen und ungepflanzt nach		
		1 Tag	3 Tagen	5 Tagen
A	Aussaat in sterilisierte Erde umgepflanzt in sterilisierte Erde			
	1. ungebeizt	94	94	87
	2. 2,2 % Hg als PMA	85	87	92
	3. 10 % COBH	87	92	82
	4. 100 % COBH	88	93	94
B	Aussaat in sterilisierte Erde umgepflanzt in verseuchte Erde			
	1. ungebeizt	8	66	75
	2. 2,2 % Hg als PMA	37	72	85
	3. 10 % COBH	62	87	95
	4. 100 % COBH	83	88	88
C	Aussaat in verseuchte Erde umgepflanzt in sterilisierte Erde			
	1. ungebeizt	55	12	20
	2. 2,2 % Hg als PMA	82	44	68
	3. 10 % COBH	94	76	89
	4. 100 % COBH	84	89	92
D	Aussaat in verseuchte Erde umgepflanzt in verseuchte Erde			
	1. ungebeizt	10	22	14
	2. 2,2 % Hg als PMA	38	49	71
	3. 10 % COBH	66	89	86
	4. 100 % COBH	79	84	92

haben, unbeeinflusst durch Beizmittel, Waschen und Umpflanzen, im Durchschnitt 90 gesunde Pflanzen hervorgebracht. In verseuchtem Boden (Versuchsreihe D) zeigt sich bei der Umpflanzung III im Endeffekt sehr deutlich die Auswirkung der Beizmittel, wobei allerdings die Leistung von PMA ungewöhnlich nahe an diejenige von COBH herankommt. Die Zahlen unter D I und D II in der Tabelle 15 lassen erkennen, daß das Abwaschen und Umpflanzen der gequollenen bzw. gekeimten Samen ein bzw. drei Tage nach der Aussaat die Wirkung von PMA in starkem Maße abschwächt, während die Entfernung des COBH-Beizhofes den Schutzeffekt kaum beeinflusst. Es muß daher angenommen werden, daß COBH im Gegensatz zu PMA bereits bei der Quellung und der Keimung der Samen von den Keimlingen aufgenommen wird und intraplanitär für mehrere Tage seine Schutzwirkung entfaltet.

In der Versuchsreihe B ist der Anfang und in der Versuchsreihe C auch das Ende der Infektionsmöglichkeit zeitlich genau festgelegt. Die Umpflanzungen machen sich durch den Keimbettwechsel sehr deutlich bemerkbar. Das unbehandelte Saatgut hat in verseuchter Erde, wenn die pathogenen Keime des Bodens mindestens fünf Tage lang auf Samen und Sämlinge einwirken konnten, im Durchschnitt des ganzen Versuches 14 gesunde Pflanzen aus

100 Samen hervorgebracht. Wenn das durchschnittliche Maximum des Auf-  
laufs gesunder Pflanzen 90 aus 100 Samen beträgt, ist ein Ausfall von  
76 Pflanzen auf bodenbürtige Infektionen zurückzuführen. Wenn wir diese  
mögliche Infektion vom Boden her gleich 100 setzen, ist in Versuchsreihe  
B I/1 der Ausfall 100 %. Das bedeutet, daß 24 Stunden nach der Aussaat  
noch eine uneingeschränkte bodenbürtige Infektion möglich ist. In Versuchs-  
reihe B II/1 beträgt der Ausfall nur noch 30 %. Das besagt, daß die Keim-  
linge drei Tage nach der Aussaat bereits den größten Teil ihrer Anfälligkeit  
verloren haben. In Versuchsreihe B III/1 beträgt der Ausfall nur noch 20 %.  
Die Widerstandsfähigkeit der Keimpflanzen ist zwar noch nicht ganz voll-  
ständig, aber weiter erhöht. Versuchsreihe C I/1 zeigt, daß die Infektion  
schon in den ersten 24 Stunden nach der Aussaat zu 50 % manifest werden  
kann. Aus C II/1 und C III/1 geht hervor, daß die ersten drei Tage nach der  
Aussaat genügen, um die größtmögliche Infektion vom Boden her zu er-  
reichen. Wenn diese Infektion in diesem Zeitraum auf irgendeine Weise ver-  
hindert wird, reicht unter den obengenannten Versuchsbedingungen die An-  
fälligkeit der Keimlinge mindestens fünf Tage aus, um wenigstens noch einen  
Teilbefall zu gestatten. In Versuchsreihe B I/2 zeigt PMA nach Entfernen des  
Beizhofes nach 24 Stunden nur eine schwache Wirkung, die auf einen kleinen  
Rest des Wirkstoffes auf den Erbsen zurückgeführt werden muß. Wird der  
PMA-Beizhof mit dem Umpflanzen in verseuchte Erde erst nach drei bzw.  
fünf Tagen entfernt (B II/2 und B III/2), so tritt kein nennenswerter Befall  
mehr ein. Diese Erscheinung muß aber, wie B II und B III/1 zeigen, haupt-  
sächlich auf den Rückgang der Keimlingsanfälligkeit mit dem Entwick-  
lungs-  
alter zurückgeführt werden und gibt keinen Aufschluß über die Wirkungs-  
dauer von PMA. Die Wirkung von COBH dagegen (B I—III/3 und 4)  
wird durch die frühzeitige Entfernung des Beizhofes nur unwesentlich beein-  
flußt, womit ein weiterer Hinweis für den intraplantären Effekt von COBH  
gegeben ist. In Versuchsreihe C I/2 zeigt PMA innerhalb der ersten 24 Stun-  
den, während der Quellung des Saatgutes seine volle Wirkung. Bleibt aber  
das PMA-gebeizte Saatgut drei oder fünf Tage lang in verseuchtem Boden  
der Infektion ausgesetzt, dann reicht die Dauerwirkung des Präparates nicht  
mehr aus. COBH dagegen zeigt in Versuchsreihe C nicht nur die volle Wirk-  
samkeit während der ersten 24 Stunden, sondern darüber hinaus während  
der ganzen Zeitspanne, in der eine Infektionsmöglichkeit besteht.

Auf Grund dieser Ergebnisse kommen wir zu dem Schluß, daß COBH  
seine vollstündigere Wirkung gegen bodenbürtige Infektionen dem Umstand  
verdankt, daß sein Schutzeffekt nicht durch die Beständigkeit und räumliche  
Ausdehnung des Beizhofes begrenzt wird, sondern in der Lage ist, in den  
Keimling einzudringen, sich darin zu verteilen und endoprophylaktisch  
mehrere Tage lang wirksam zu bleiben. Dabei muß jedoch vorläufig noch die  
Frage offen bleiben, wie der endoprophylaktische und begrenzt systemische  
Effekt zustande kommt. Da die Substanz *in vitro* keine besondere, *in vivo*  
aber eine sehr starke Wirksamkeit zeigt, läßt sich vermuten, daß sie in der  
Pflanze entweder in eine wirksame Verbindung übergeführt wird, oder aber  
die Pflanze auf irgendeine Weise zur Resistenzbildung veranlaßt.



Bei der Wirkung von COBH steht der Schutzeffekt im Vordergrund. Darüber hinaus ließ sich aber auch ein schwacher, jedoch deutlicher kurativer Effekt nachweisen. Es wurden ungebeizte Erbsen zwei und vier Tage lang in verseuchter Komposterde zur Quellung und Keimung gebracht und der bodenbürtigen Infektion ausgesetzt. Nach gründlichem Abwaschen und Umpflanzen in reinen Sand kamen aus 100 Samen nur einige wenige gesunde Pflanzen zur Entwicklung. Wurden die gekeimten Samen jedoch nach dem Umpflanzen reichlich mit einer 0,005%igen COBH-Suspension gegossen, so konnte bei einem Teil der infizierten Samen das Faulen der Keimlinge verhindert und die Entwicklung eines deutlich höheren Prozentsatzes gesunder Pflanzen erreicht werden.

### Bodenbürtige Infektionen

Als allgemeine Infektionsquelle für bodenbürtige Keimlingskrankheiten haben wir vorwiegend und mit gutem Erfolg gewöhnliche Komposterde heterogener Zusammensetzung mit vollständiger und unvollständiger Rotte aus mehreren verschiedenen Gartenbaubetrieben benutzt. Die einzelnen Lieferungen wiesen nur graduelle Pathogenitätsunterschiede auf. Sie verursachten sämtlich bei temperaturbedingt langsamem Aufgang anfälliger Saaten einen hochgradigen Ausfall an Pflanzen durch Keimlingsfäule und ermöglichten auf diese Weise eine scharfe Beizmittelprüfung in einem mykologisch vielseitigen Keimbett. Unseres Erachtens lassen Aussaatversuche in gewöhnlicher Komposterde am ehesten eine zuverlässige allgemeine Beurteilung von Beizmitteln in ihrer Wirkung gegen Auflaufkrankheiten zu. Auch für Aussaatversuche mit definierter Verseuchung des Bodens haben wir Komposterde vorgezogen, um mit dem gleichen heterogenen Substrat möglichst allen Pilzarten, die in die Versuche einbezogen wurden, geeignete organische Bodenbestandteile zur Verfügung zu stellen. Vor der Beimpfung mit den verschiedenen Pilzen wurde der Kompost in der bereits beschriebenen Weise thermisch sterilisiert.

Frühstorfer Einheitserde, die als pilzfreie Erdmischung verkauft wird, verhielt sich erwartungsgemäß im Hinblick auf Pathogenität wie ausgewaschener Sand oder sterilisierter Kompost. Bodenbürtige Infektionen konnten nicht festgestellt werden.

Es ist zu erwarten, daß natürliche Freilandböden untereinander in stärkerem Maße differieren, als verschiedene Herkünfte von Komposterden, die aus sehr heterogenen Pflanzenabfällen entstanden sind. Diese Vermutung fand ihre experimentelle Bestätigung. In Tabelle 16 sind die Ergebnisse einiger typischer Versuche zusammengestellt, die mit verschiedenen Böden in direktem Vergleich zu gewöhnlicher Komposterde durchgeführt wurden. Die Erde aus einer Obstplantage mit ausdauernder Grasnarbe brachte unabhängig von der Samenbeizung den besten Bestand, während die Erde des Rübenackers starke Ausfälle verursachte, die durch die Beizung des Saatgutes gemildert und bei Erbsen sogar fast völlig ausgeschaltet werden konnten. Die Gartenerde nahm eine Mittelstellung ein. Sowohl bei der Gartenerde als auch bei

der Erde, die in der Obstplantage ständig mit einer Grasnarbe bedeckt war, handelt es sich um den gleichen Bodentyp der Rheinniederung bei Leverkusen, der einen schwach humosen, lehmigen Sand darstellt.

Tabelle 16

Vers. Nr.	Bodenart	Gesunde Auflaufstellen (A) und gesunde Pflanzen (B) in % der ausgelegten Knäuel bzw. Erbsen 4-5 Wochen nach der Aussaat					
		ungebeizt		2,2% Hg als PMA 6 g/kg		10% COBH 3 g/kg	
		A	B	A	B	A	B
A. Mehrkeimiges Zuckerrübensaatgut							
1 a	Komposterde .....	32	32	70	118	82	144
1 b	Gartenerde .....	40	48	76	124	64	110
2 a	Komposterde .....	44	78	44	90	68	128
2 b	Erde aus einer Obstplantage.....	80	188	76	184	82	180
3 a	Komposterde .....	23	37	66	145	75	179
3 b	Ackererde, Vorfrucht: Rüben.....	8	9	18	23	41	77
B. Markerbsen Alderman							
4 a	Komposterde .....		4		34		81
4 b	Ackererde, Vorfrucht: Rüben.....		3		72		87

Die Pathogenitätsunterschiede dürften daher vorwiegend auf den unterschiedlichen Kulturzustand der Böden zurückzuführen sein.

Einige Tastversuche, bei denen die Reaktion eines Bodens von pH 6,8 auf pH 5,7 und pH 7,3 verschoben wurde, weisen darauf hin, daß wohl die Pathogenität des Bodens von der aktuellen Azidität beeinflusst wird, nicht aber die Wirksamkeit der benutzten Beizmittel.

Für das Auftreten von Keimlingskrankheiten sind ferner die Temperaturverhältnisse des Bodens nach der Aussaat von ausschlaggebender Bedeutung. Darüber hinaus interessierte uns, ob auch kurzfristige Temperatureinflüsse vor der Aussaat das biologische Gleichgewicht des Bodens so verschieben können, daß dadurch auch eine Pathogenitätsverschiebung zustande kommt. Bei entsprechend angesetzten Versuchen wurde die Komposterde vor der Aussaat 14 Tage lang Temperaturen von 0, 10 und 20° C ausgesetzt. Sie ließen im Gegensatz zu den Temperaturen nach der Aussaat keinen Einfluß auf den späteren Befall der Keimlinge von Rüben, Erbsen, Bohnen, Mais und Lein erkennen.

Die Beizmittelpfung gegen isolierte Bodenpilze, die als Erreger von Keimlingskrankheiten in Betracht kommen, erfolgte ebenfalls durch Aussaatversuche, in der beschriebenen Art und Weise, wobei als Keimbett thermisch sterilisierte und anschließend beimpfte Komposterde benutzt wurde. Die Beimpfung des Bodens erfolgte nach drei verschiedenen Methoden.

Methode I: In Weithals-Erlenmeyer-Kolben von 200 cm<sup>3</sup> Inhalt wurden auf 20 cm<sup>3</sup> geeigneten Agarnährböden die verschiedenen Pilze zur Entwicklung gebracht. Nach völliger Überwachsung der Bodenfläche wurden die Kolben unter sterilen Bedingungen mit einem sterilen Gemisch aus drei

Raumteilen feuchtem Torfmehl, einem Raumteil Sand und einem Raumteil Saatgutschrot aufgefüllt. Um den Pilzen eine frühzeitige Einstellung auf die zukünftige Wirtspflanze zu ermöglichen, wurde dem Torf-Sand-Gemisch das gleiche Saatgut in geschroteter Form zugesetzt, das anschließend für die Keimversuche benutzt wurde. Wenn dieses Substrat völlig mit Myzel durchwachsen war, wurden davon 100 cm<sup>3</sup> als Infektionsmaterial jeweils vier Liter sterilisierter Komposterde gleichmäßig zugemischt, die dann in dieser Form für die Aussaatversuche verwendet wurde.

Methode II: Von einem dichten Pilzrasen auf dünnem Agarsubstrat wurden 60 cm<sup>2</sup> im Star-Mix zehn Sekunden lang mit 200 cm<sup>3</sup> feuchtem, sterilem Torfmehl zerkleinert und vermischt. Dieses Gemisch wurde auf sterilisierte Komposterde in sterilisierten Tonschalen aufgestreut und diente als Keimbett für die Samen, die anschließend mit sterilisierter Komposterde 3 cm hoch überschichtet wurden. Diese Methode beanspruchte zwar den geringsten Arbeitsaufwand, brachte aber oft nur unbefriedigende Infektionserfolge.

Methode III: Aus Pilzkulturen in Petrischalen wurden mittels Korkbohrer pfenniggroße Scheiben ausgestanzt, die bei der Aussaat jedem Samen untergelegt wurden. Der Infektionserfolg war gut. Die Keimschalen mit unterschiedlicher Beimpfung wurden so weit getrennt aufgestellt, daß beim Gießen die Übertragung der Pilze durch Spritzwasser von einer Schale auf die andere ausgeschlossen war.

Bei unseren Keimversuchen mit Erbsen und Zuckerrüben wurden unsere Stämme von *Alternaria tenuis* NEES, *Botrytis cinerea* PERSOON, *Phymatotrichum omnivorum* (SHEAR) DUGGAR und *Rhizoctonia solani* KÜHN nicht pathogen. Dagegen zeigten *Pythium debaryanum* HESSE und *Pythium*

Tabelle 17

Mehrkeimiges Zuckerrübensaatgut in beimpfter und nicht beimpfter sterilisierter Komposterde

Vers. Nr.	Beimpfung der sterilisierten Komposterde als Keimmedium	Zahl der gesunden Auflaufstellen (A) und der gesunden Pflanzen (B) aus 100 Rübenknäueln					
		ungebeizt		2,2 % Hg als PMA 6 g/kg		10 % COBH 3 g/kg	
		A	B	A	B	A	B
Auszählung 2 Wochen nach der Aussaat							
1 a	nicht beimpft .....	84	156	82	192	84	220
1 b	<i>Pythium debaryanum</i> (Methode I) ....	20	20	30	30	50	76
2 a	nicht beimpft .....	82	138	80	186	72	160
2 b	<i>Pythium debaryanum</i> (Methode III) ...	6	6	8	10	46	62
2 c	<i>Pythium ultimum</i> (Methode II) .....	32	46	46	74	62	102
2 d	<i>Pythium ultimum</i> (Methode III) .....	0	0	0	0	20	32
Auszählung 5 Wochen nach der Aussaat							
3 a	nicht beimpft .....	61	124	80	177	70	149
3 b	<i>Pythium debaryanum</i> (Methode II) ....	33	54	36	59	60	92
3 c	<i>Pythium debaryanum</i> (Methode III) ...	1	1	0	0	34	49



*ultimum* TROW sowohl für Rüben als auch für Erbsen eine hohe Virulenz, so daß mit diesen Arten eine scharfe Beizmittelprüfung durchgeführt werden konnte.

Die Ergebnisse einiger Versuche sind in den Tabellen 17 und 18 zusammengestellt. Sie lassen eindeutig die Wirkung von COBH in der Anwendung als Samenbeize gegen bodenbürtige Keimlingsinfektionen mit *Pythium debaryanum* und *Pythium ultimum* erkennen und bestätigen damit sinngemäß die mit natürlich verseuchten Böden gemachten Erfahrungen.

Tabelle 18  
Markerbsen Alderman in beimpfter und nicht beimpfter  
sterilisierter Komposterde

Vers. Nr.	Beimpfung der sterilisierten Komposterde als Keimmedium	Zahl der gesunden Pflanzen aus 100 Samen 4-5 Wochen nach der Aussaat		
		ungebeizt	2,2% Hg als PMA 2 g/kg	10% COBH 2 g/kg
1 a	nicht beimpft .....	78	76	82
1 b	<i>Pythium debaryanum</i> (Methode I) ....	14	10	74
2 a	nicht beimpft .....	82	94	94
2 b	<i>Pythium debaryanum</i> (Methode III) ...	28	70	86
2 c	<i>Pythium ultimum</i> (Methode III) .....	0	0	70
3 a	nicht beimpft .....	79	82	77
3 b	<i>Pythium ultimum</i> (Methode III) .....	13	9	60

### Besprechung der Ergebnisse

Die Bekämpfung von Keimlingskrankheiten ist unbefriedigend, weil erstens die Krankheitserreger nicht nur am Saatgut vorkommen, sondern auch im Boden leben und zweitens die als Beizmittel gebräuchlichen organischen Quecksilberverbindungen lediglich das Saatgut oberflächlich desinfizieren, ohne den Keimlingen Schutz vor bodenbürtigen Infektionen zu gewähren. Die Suche nach besseren Mitteln und ihre Anerkennung wird durch methodische Schwierigkeiten bei der biologischen Prüfung erschwert. In den letzten fünf Jahren haben wir uns bemüht, ein Beizmittel zu entwickeln, das auch gegen bodenbürtige Infektionen wirksam ist. In der vorliegenden Arbeit haben wir zusammenfassend über das gefundene Präparat Chinonoximbenzoylhydrazon (COBH) berichtet und unsere methodischen Erfahrungen bei der biologischen Prüfung mitgeteilt.

### Material und Methodik

Es hat sich gezeigt, daß Beizmittelprüfungen *in vitro* ein völlig falsches Bild vermitteln können. Es empfiehlt sich, Prüfungen unter weitgehend natürlichen, jedoch kontrollierbaren Bedingungen durchzuführen, wie sie in Gewächshäusern oder klimatisierten Vegetationskammern erreicht werden können. Im Freiland hängt das Gelingen derartiger Versuche zu sehr vom

Zufall, d. h. von Faktoren ab, die weder vorherbestimmt noch beeinflußt werden können. Allzu oft sind Feldversuche nicht auswertbar, weil auch bei ungebeiztem Saatgut keine Keimlingskrankheiten auftreten oder andere Ausfälle zustande kommen, die mit pilzlichen Keimlingsinfektionen nichts zu tun haben. Für die Beurteilung von Beizmitteln in ihrer Wirksamkeit gegen Auflaufkrankheiten hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Zahl der gesunden Pflanzen zu bestimmen, die eine definierte Saatgutmenge hervorgebracht hat. Vielfach wird eine Beizmittelbeurteilung auf Grund des Gesundheitszustandes der aufgelaufenen Pflanzen vorgenommen, ohne die Saatgutmenge nach Zahl oder wenigstens nach Gewicht als Bezugsgröße zu berücksichtigen. Dieses Verfahren muß zu Fehlschlüssen führen, da die infizierten Keimlinge zum großen Teil bereits vor Erreichen der Bodenoberfläche zugrunde gehen. Auch Ertragsfeststellungen sind als Grundlage für eine Beizmittelbeurteilung ungeeignet, da für den Ertrag zu viele andere Faktoren mitbestimmend sind. Die Auszählung gesunder Pflanzen muß zu einem Zeitpunkt erfolgen, nach dem mit keinen weiteren Erkrankungen mehr zu rechnen ist. Etwa 14 Tage nach der Aussaat sind die Pflanzen normalerweise dem anfälligen Keimlingsstadium entwachsen, so daß unter Berücksichtigung der Inkubationszeit drei bis fünf Wochen nach der Aussaat die Endauswertung vorgenommen werden sollte. Die einzelnen Saatgutsorten und darüber hinaus auch die einzelnen Herkünfte und Partien weisen in der Anfälligkeit ihrer Keimlinge gegen Auflaufkrankheiten erhebliche Unterschiede auf. Es empfiehlt sich daher, für eine scharfe Mittelprüfung geeignetes Saatgut durch Vorversuche auszuwählen. Für das Auftreten von Keimlingskrankheiten scheint die Anfälligkeit der Keimlinge von größerer Bedeutung zu sein, als Art und Stärke der Verseuchung des Saatgutes. Ferner kommt bei einer Mittelprüfung, die sich nicht nur auf die Feststellung der Desinfektionswirkung auf der Saatgutoberfläche beschränken soll, der Wahl des Keimbettes als Infektionsquelle eine besondere Bedeutung zu.

Man sollte für diese Zwecke gewöhnlichen Kompost vor allen anderen natürlichen und künstlichen Böden den Vorzug geben, weil er ein sehr allgemeines Substrat darstellt. Unter sonst geeigneten Bedingungen bietet dieses Keimmedium am ehesten die Gewähr für ein starkes Auftreten von Keimlingskrankheiten. Es enthält ein weitgehend natürliches und meist auch vielseitiges Gemisch von Bodenorganismen, die miteinander in vielfältige Wechselbeziehungen treten. Wenn der Kompost nur möglichst heterogen aufgebaut ist, ist der Ort seiner Entstehung von untergeordneter Bedeutung. Natürliche Böden sind in der Regel weniger vielseitig und daher je nach Herkunft in ihrer Pathogenität weitgehend verschieden, so daß die gewonnenen Ergebnisse nur jeweils für den speziellen Fall Geltung haben. Standardisierte Erden lassen sich weitgehend exakt definieren und reproduzieren. Sie können für spezielle Fragestellungen, besonders im Hinblick auf den Einfluß abiotischer Faktoren des Bodens, unersetzlich sein. Für die allgemeine Beizmittelprüfung gegen Auflaufkrankheiten erscheinen sie jedoch als Substrat für eine natürliche Bodenflora zu einseitig. Auch für Aussaatversuche mit definierter künstlicher Verseuchung des Bodens haben wir Kompost-

erde vorgezogen, um mit dem gleichen heterogenen Substrat möglichst allen Pilzarten, die in die Versuche einbezogen wurden, geeignete organische Bodenbestandteile zur Verfügung zu stellen. Vor der Beimpfung wurde der Kompost thermisch sterilisiert.

Über die Auswahl eines anfälligen und verseuchten Saatgutes und die Verwendung einer verseuchten Komposterde hinaus müssen zur Erzielung eines starken Befalls weitere Faktoren beachtet werden. Vor allen Dingen beeinflusst die Bodentemperatur Keimung und Wachstum in starkem Maße. Bei relativ niedrigen Temperaturen ist die Entwicklung der Keimlinge verzögert, ihre Widerstandsfähigkeit herabgesetzt und das anfällige Stadium verlängert. Allerdings dürfen die Bodentemperaturen nicht so niedrig sein, daß darunter die Pathogenität der Pilze leidet. Für die einzelnen Parasit-Wirt-Kombinationen gibt es für einen maximalen Befall optimale Temperaturbereiche, die bei unseren Versuchen vorwiegend zwischen 10 und 15 ° C lagen. In der kalten Jahreszeit sind diese Bodentemperaturen im Gewächshaus relativ leicht einzuhalten. Bei wärmerem Wetter kann man meist nicht darauf verzichten, die Saatkästen nach der Aussaat für etwa zehn Tage entsprechend kühl zu stellen. Bei direkter Sonneneinstrahlung ist die Temperatur oberflächennaher Bodenschichten oft erheblich von der Lufttemperatur verschieden. Ferner begünstigt ein gewisses Etiolement den Befall, so daß sich eine schwache Kurztagsbeleuchtung bedingungsverschärfend bemerkbar machen kann. Den Boden haben wir nach Möglichkeit gleichmäßig normal feucht gehalten und in dieser Hinsicht keine experimentellen Variationen vorgenommen.

### Beizwirkung

Bei der biologischen Prüfung stand COBH stets mit Phenylmercuriacetat (PMA) in direktem Vergleich. PMA ist eine der gebräuchlichen organischen Quecksilberverbindungen, die sich in ihrer Wirkungsweise nicht unterscheiden und eine hohe universelle fungizide Potenz aufweisen. Unter diesen zählt PMA, besonders im Hinblick auf seine Wirkung gegenüber Keimlingskrankheiten, zu den besten. Auf Grund vergleichender Versuche bestehen keine Bedenken, die mit PMA gewonnenen Erkenntnisse sinngemäß auch auf andere gebräuchliche Quecksilberverbindungen zu übertragen.

COBH ließ *in vitro* gegenüber keinem der benutzten Testpilze eine bemerkenswerte fungizide oder fungistatische Wirksamkeit erkennen. Erst in Verbindung mit quellenden und keimenden Samen kommt ein starker Effekt gegen pilzliche Keimlingskrankheiten zustande. Bei Aussaatversuchen, bei denen die bodenbürtige Infektion durch Verwendung von reinem Sand oder sterilisierter Erde ausgeschaltet war, wurde durch COBH der Wirkungsgrad von PMA gegen samenbürtige Infektionen verschiedener Sämereien erreicht, aber nicht übertroffen. Erst in natürlich oder künstlich verseuchten Böden entfaltet COBH, als Beizmittel angewandt, seine überlegene Leistungsfähigkeit. Im künstlich beimpften Keimbett ließ sich die Wirkung gegen die Bodenpilze *Pythium debaryanum* und *Pythium ultimum* eindeutig nachweisen. Auf Grund der Erfahrungen mit natürlich verseuchtem Boden ist die



Wirkung gegen *Aphanomyces laevis* sehr wahrscheinlich, jedoch gegen *Rhizoctonia solani* unwahrscheinlich. Die volle Wirkung von COBH kommt bereits bei den gleichen niedrigen Konzentrationen bzw. Aufwandmengen zustande, die bei organischen Quecksilberverbindungen üblich sind. Mehrfache Überdosierungen werden völlig schadlos vertragen, so daß der chemotherapeutische Index sehr günstig beurteilt werden muß.

Für organische Quecksilberverbindungen konnte nachgewiesen werden, daß ihre Wirkung über die Saatgutoberflächendesinfektion hinaus sich im Boden nur bis zu 2 mm vom Samen entfernt erstreckt. Innerhalb dieses Beizhofes ist auch ein gewisser Schutz gegen bodenbürtige Infektionen vorhanden, der jedoch nur so lange zur Auswirkung kommt, als sich der junge Keimling in dieser Zone befindet. Sobald der Keimling größer geworden ist, ist er außerhalb des Beizhofes völlig ungeschützt. COBH bietet demgegenüber einen Infektionsschutz, der sich auf den ganzen Keimling ausdehnt und 10 bis 14 Tage lang anhält. In der Regel wird mit dieser Zeitspanne das anfällige Keimlingsstadium überbrückt. Die Ursache für den räumlich und damit auch zeitlich ausgedehnten Schutzeffekt könnte in einem größeren Beizhof gesucht werden. Jedoch machen es die geringe Wasserlöslichkeit und der außerordentlich geringe Dampfdruck des Präparates unwahrscheinlich, daß es sich im Boden besser ausbreitet als PMA. Es konnte auch nachgewiesen werden, daß die COBH-Schutzwirkung erhalten bleibt, wenn das behandelte Saatgut und die daraus hervorgegangenen Keimlinge mehrere Tage nach der Aussaat durch gründliches Waschen von dem Beizhof und der außen am Samen anhaftenden Beize befreit wurde. Diese Tatsache spricht für einen intraplantären Effekt mit systemischer Ausbreitung. Eine weitere Stütze erhält dieser Schluß durch die Tatsache, daß junge Pflanzen mit unverletzter Wurzel in COBH-Lösung eingestellt, nach kurzer Zeit eine dem Präparat entsprechende Braunfärbung aufweisen, die vorzugsweise im Zentralzylinder der untergetauchten Wurzel und den Wandungen der Holzgefäße des Stengels bis mehrere Zentimeter oberhalb des Flüssigkeitsspiegels zu finden ist.

COBH entfaltet auch einen gewissen kurativen Effekt. Er ist aber gering im Vergleich zum Schutzeffekt, der durch die Saatgutbehandlung zustande kommt. Er konnte dadurch nachgewiesen werden, daß bei Saatgut, das im verseuchten Boden zur Keimung gebracht, anschließend abgewaschen und in sauberen Sand umgepflanzt wurde, nach Begießen mit COBH-Lösung der Ausbruch der Keimlingsfäule bei einem Teil der infizierten Keimlinge verhindert werden konnte.

Durch gleichmäßige Verteilung von COBH im Boden in einer Aufwandmenge von 10 g/m<sup>2</sup> bzw. 100 g/m<sup>3</sup> ist es ebenfalls möglich, bodenbürtige Keimlingskrankheiten weitgehend auszuschalten. Es ist anzunehmen, daß es sich hier nicht um eine echte Bodendesinfektion handelt, sondern ebenfalls um einen intraplantären Schutzeffekt, der durch die Aufnahme des Präparates aus dem Boden ermöglicht wird. Dieser Anwendungsweise von COBH scheint jedoch keine praktische Bedeutung zuzukommen, da die dafür erforderlichen größeren Präparatmengen weder durch eine vollständigere noch durch eine

dauerhaftere Wirkung gegenüber der Anwendungsweise als Beizmittel gerechtfertigt werden.

Die Saatgutbeizung mit organischen Quecksilberverbindungen ermöglicht eine Saatgutoberflächendesinfektion und damit eine weitgehende Ausschaltung samenbürtiger Keimlingskrankheiten. Mit COBH ist es heute möglich, darüber hinaus in gleicher Weise auch bodenbürtige Infektionen wirksam zu bekämpfen. Der Beizerfolg kann gelegentlich nur dadurch geschmälert werden, daß pathogene Bodenpilze auftreten, die nicht zum Wirkungsspektrum von COBH gehören, oder daß durch einen anhaltend ungünstigen Witterungsverlauf die Keimpflanzen mehrere Wochen lang ihre hohe Anfälligkeit beibehalten und auch dann noch eine Infektionsmöglichkeit bieten, wenn die Nachwirkung von COBH bereits abgeklungen ist.

### Zusammenfassung

Chinonoxim-benzoylhydrazon (COBH), ein neuartiger Wirkstoff zur Bekämpfung von Keimlingskrankheiten durch Saatgutbeizung, wird beschrieben. Seine Leistungsfähigkeit und Wirkungsweise wird an Hand allgemeiner Aussaatversuche und spezieller Teste demonstriert und es wird versucht, zur Klärung der Frage nach Material und Methodik für die Beizmittelprüfung gegen Auflaufkrankheiten beizutragen.

Aus der Tatsache, daß Keimlingskrankheiten sowohl durch Erreger am Saatgut als auch durch Erreger im Boden verursacht werden, ergibt sich die Notwendigkeit, bei der Beizmittelprüfung beide Infektionsquellen methodisch zu berücksichtigen. Als allgemeines natürlich verseuchtes Keimbett wird gewöhnlicher Kompost vorgeschlagen. Die Eignung des Saatgutes für derartige Untersuchungen wird nicht nur durch Art und Stärke des Besatzes mit pathogenen Keimen, sondern auch durch seine Anfälligkeit bestimmt, die nach Art, Sorte und Partie wesentlich verschieden sein kann. Versuchsverschärfend wirken bei Aussaatversuchen alle Faktoren, die die Keimung und das Wachstum der Keimlinge verzögern, ihre Anfälligkeit erhöhen und zeitlich ausdehnen. Von besonderer Bedeutung sind relativ niedrige Bodentemperaturen und schwache Beleuchtung.

Es wurde festgestellt, daß COBH *in vitro* praktisch unwirksam, als Saatgutbeize angewandt, jedoch in der Lage ist, nicht nur samenbürtige Keimlingskrankheiten weitgehend auszuschalten, sondern darüber hinaus auch bodenbürtige, wie sie z. B. durch *Pythium debaryanum* und *Pythium ultimum* hervorgerufen werden. Dieser überraschend weitgehende Schutzeffekt wird nicht durch einen direkten Einfluß des Präparates auf die Pilze innerhalb eines erweiterten Beizhofes ermöglicht, sondern durch die Aufnahme des Wirkstoffes durch den quellenden und keimenden Samen sowie durch seine Ausbreitung in der Keimpflanze. Es konnte noch nicht geklärt werden, ob der intraplantäre und auf einige Zentimeter beschränkte systemische Schutzeffekt durch COBH direkt, durch ein Umwandlungsprodukt des Präparates, durch Inaktivierung von Toxinen oder durch Mobilisierung wirtseigener Resistenzfaktoren verursacht wird.

**Literaturverzeichnis**

1. ZOGG, H., 1954: Methode zur laboratoriumsmäßigen Bestimmung der Fernwirkung von Getreidebeizmitteln. *Phytopath. Z.* **22**, 71—75.
2. RIEHM, E., 1939: Rübensamenbeizung. *Sorauers Handb. Pflanzenkrankh.* 6. Band, Berlin.
3. BRAUN, H. und RIEHM, E., 1950: Krankheiten und Schädlinge der landw. und gärtn. Kulturpflanzen und ihre Bekämpfung. P. Parey, Berlin und Hamburg.
4. PETERSEN, S., GAUSS, W. und URBSCHAT, E., 1955: Synthese einfacher Chinon-Derivate mit fungiziden, bakteriostatischen oder cystostatischen Eigenschaften. *Angew. Chemie* **67**, 217—231.



*Aus der Biologischen Bundesanstalt, Institut für landwirtschaftliche  
Virusforschung, Braunschweig*

## **Elektronenmikroskopische Untersuchungen über Kartoffelviren**

### **V. Vermessung der Teilchen des Kartoffel-Aucuba-Virus**

Von

H. L. PAUL und O. BODE

*Mit 4 Abbildungen*

Von den in dieser Reihe (I—V) vermessenen Kartoffelviren ist das Kartoffel-Aucuba-Virus noch am wenigsten untersucht. Beschreibungen über Symptombilder und Testpflanzen und die Behandlung der Verwandtschaftsbeziehungen zwischen verschiedenen Stämmen haben unter anderen CLINCH, LOUGHNANE und MURPHY 1936; LOUGHNANE und MURPHY 1938; CLINCH 1941; DYKSTRA 1939; OSWALD, ROZENDAAL und VAN DER WANT 1955 und MARIS und ROZENDAAL 1956 gegeben. Die Morphologie des Virus ist unseres Wissens noch nicht behandelt worden. (Dabei darf das Kartoffel-Aucuba-Virus nicht mit dem tabakmosaikähnlichen Tomaten-Aucuba-Virus verwechselt werden.)

#### **Material und Methodik**

In unserer Untersuchung wurden drei Stämme des Kartoffel-Aucuba-Virus (PM, AH und G) benutzt, die von Dr. Ross (Voldagsen) von Kartoffeln isoliert worden waren<sup>1)</sup>. Die Stämme wurden auf *Nicotiana glutinosa* gehalten und erzeugten auf deren Blättern die für das Aucuba-Virus typischen Symptome; auf Samsuntabak blieb der Befall latent. Rückimpfungen von Tabak auf *N. glutinosa* und auf Blätter des *Solanum demissum*-Bastards „A 6“ (KÖHLER, 1953) ließen dort erneut Aucuba-Symptome entstehen.

<sup>1)</sup> Herrn Dozent Dr. Ross möchten wir auch an dieser Stelle für die Überlassung der Stämme danken.

Die elektronenmikroskopischen Präparate stellten wir nach der Exsudatmethode von JOHNSON (1951) her, wobei als Wirtspflanze Samsuntabak diente. Die Objekte wurden, nachdem sie mit Platin-Iridium schräg bedampft worden waren, bei einer elektronenoptischen Vergrößerung von  $5300\times$  photographiert und die Aufnahmen bei einer Gesamtvergrößerung von  $40\,000\times$  vermessen. Die Ergebnisse wurden als Treppenvpolygone mit einer Klassenbreite von  $25\text{ m}\mu$  dargestellt.

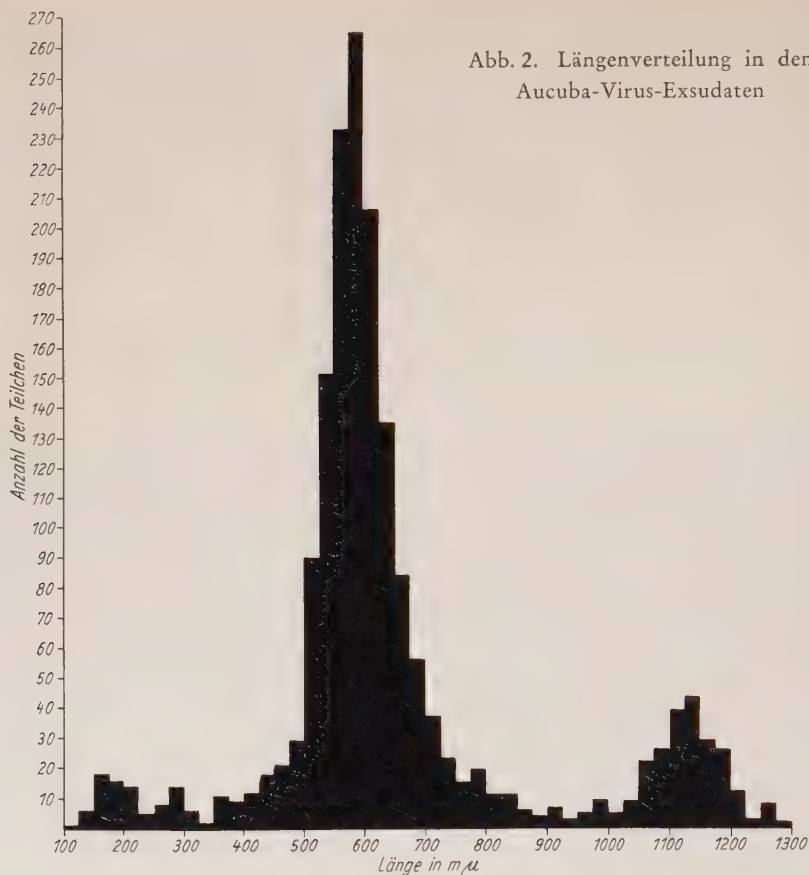
### Ergebnisse

Das Kartoffel-Aucuba-Virus besitzt flexible Teilchen (Abb. 1), deren Gestalt und Länge bei allen drei Stämmen gleich war. Deswegen konnten die Meßergebnisse an 1783 Partikeln in Abb. 2 gemeinsam dargestellt wer-

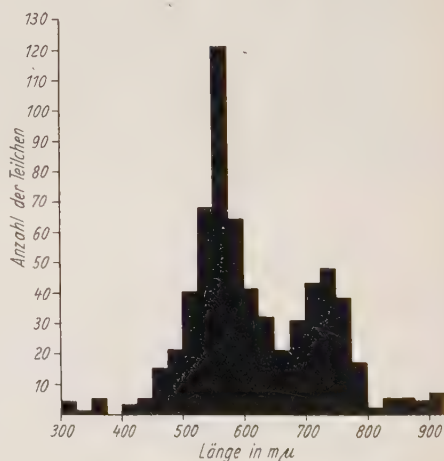


Abb. 1. Teilchen des Kartoffel-Aucuba-Virus (Vergr. 30 000)

den. Deutlich heben sich die Gipfel für die Normal- und die Doppellänge heraus; ein Gipfel für die Halblängen tritt dagegen nicht in Erscheinung. Die Bestimmung der Normallängen (BODE und PAUL, 1956) brachte den Wert von  $586\text{ m}\mu$ . Der für die Berechnung ausgegrenzte Bereich erstreckte sich von  $500\text{--}675\text{ m}\mu$ , in ihm befanden sich etwa 65 % der Teilchen (1162). Für die Doppellänge ergab sich ein Wert von etwa  $1136\text{ m}\mu$ . Der ausgegrenzte Bereich reichte von  $1075\text{--}1200\text{ m}\mu$  und enthielt 9,1 % (163) der Teilchen.



Die Dickenmessungen und Längenvergleiche zu einem gut bekannten Virus gestalteten sich im Falle des Aucuba-Virus schwierig. Wie bislang wurden aus Tabakmosaik- und Aucuba-Virus Mischexsudate hergestellt. In solchen Präparaten ließen sich jedoch die beiden Viren schlecht unterscheiden, da die Normallänge des Aucuba-Virus mit der Doppellänge des Tabakmosaikvirus praktisch übereinstimmt. Obgleich das aggregierte Tabakmosaikvirus starrer und etwas dicker als das Aucuba-Virus ist, ließ sich die Trennung nicht mit der erforderlichen Genauigkeit vornehmen. Aus diesem Grunde wurden Mischexsudate des





bereits vermessenen Kartoffel-A-Virus (PAUL und BODE 1956: 739 m $\mu$ ) mit dem Aucuba-Virus hergestellt (Abb. 3). Für das A-Virus ergibt sich aus ihnen eine Normallänge von etwa 732 m $\mu$  und für das Aucuba-Virus eine solche von etwa 569 m $\mu$ . Da die Gipfel in Abb. 3 nicht weit auseinanderliegen und die Streuung groß ist ( $\sigma \approx 40$ ), überschneiden sich die Bereiche beider Viren und machen eine genauere Bestimmung der Normallängen unmöglich.

Die Dicke, aus dem Vergleich der Schattenbreiten parallel liegender Teilchen bestimmt, entsprach etwa der des A-Virus; analoge Werte ergaben sich auch aus Bestimmungen mit Tabakmosaikvirus. Danach dürften die Teilchen des Aucuba-Virus einen Durchmesser von ungefähr 11 m $\mu$  haben.

### Diskussion über die Längenvermessungen an Kartoffelviren

In unseren Mitteilungen I—V haben wir die häufigsten Kartoffelviren vermessen. Das ebenfalls verbreitete Kartoffel-S-Virus ist von WETTER und BRANDES (1955, 1956) untersucht worden. Abgesehen von dem morphologisch fast gleichen A- und Y-Virus besitzen diese Viren verschiedene Längen. Das verdeutlicht Abb. 4, auf der ihre Normallängen und der Bereich  $\pm \sigma$

eingetragen und für Vergleichszwecke auch die Werte für das Tabakmosaikvirus eingesetzt sind.

Zur besseren Charakterisierung wurden außerdem Dicke und Gestalt der Viren angegeben; unberücksichtigt blieben Aggregationen und Bruchstücke. Die meisten dieser Viren lassen sich somit im Elek-

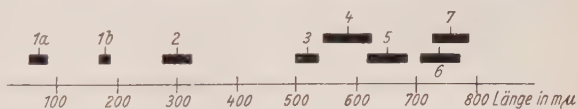


Abb. 4. Darstellung der Normallänge mit dem Bereich  $\pm \sigma$  für sechs Kartoffelviren und Tabakmosaikvirus.

- |                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1 a und 1 b Rattle-Virus | (Dicke: $\sim 20$ m $\mu$ ; starr)    |
| 2 Tabakmosaikvirus       | (Dicke: $\sim 15$ m $\mu$ ; starr)    |
| 3 X-Virus                | (Dicke: $\sim 10$ m $\mu$ ; flexibel) |
| 4 Aucuba-Virus           | (Dicke: $\sim 11$ m $\mu$ ; flexibel) |
| 5 S-Virus                | (Dicke: $\sim 12$ m $\mu$ ; flexibel) |
| 6 A-Virus                | (Dicke: $\sim 11$ m $\mu$ ; flexibel) |
| 7 Y-Virus                | (Dicke: $\sim 12$ m $\mu$ ; flexibel) |

tronenmikroskop unterscheiden, nur beim A- und Y-Virus ist das unmöglich. Schwierigkeiten könnten sich evtl. auch bei Gemischen von X- und Aucuba- bzw. Aucuba- und S-Virus ergeben, wenn die eine Virusart in nur geringer Menge vertreten ist.

Die Dickenbestimmungen liefern weniger brauchbare Werte, sie sind zudem recht unsicher, da sich Meßfehler in diesen Dimensionen stark bemerkbar machen.

Weitere Kartoffelviren bzw. Virusstämme, nämlich das Kartoffel-Bukett-Virus und das Kartoffel-Pseudoaucuba-Virus, dürften nach den bereits vorliegenden Befunden morphologisch mit den von DESJARDINS, SENSENEY und HESS (1953) für das Tabakringspot vermessenen, sphärischen Teilchen übereinstimmen.

## Zusammenfassung

Drei differente Stämme des Kartoffel-Aucuba-Virus wurden im Elektronenmikroskop untersucht. Sie besitzen lange, flexible Teilchen, für die eine Normallänge von 586  $m\mu$  und eine Dicke von etwa 11  $m\mu$  bestimmt wurden. Abschließend wird eine Zusammenstellung der elektronenmikroskopisch vermessenen Kartoffelviren gegeben.

Für die Bereitstellung von Geräten möchten wir der Deutschen Forschungsgemeinschaft unseren Dank aussprechen.

## Literaturverzeichnis

- BODE, O. und PAUL, H. L., 1956: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über Kartoffelviren. III. Vermessungen an Teilchen des Kartoffel-Y-Virus. *Phytopath. Z.* **27**, 107—112.
- CLINCH, PH. E. M., LOUGHNANE, J. B. and MURPHY, P. A., 1936: A study of the aucuba or yellow mosaic of the potato. *Sci. Proc. Royal Dublin Soc.* **21**, 431—448.
- —, 1941: A strain of the tuber blotch virus causing top necrosis in potato. *Sci. Proc. Royal Dublin Soc.* **22**, 435—445.
- DESJARDINS, P. R., SENSENEY, C. H. and HESS, G. E., 1953: Further studies on the electron microscopy of purified tobacco ringspot virus. *Phytopathology* **43**, 687—690.
- DYKSTRA, T. P., 1939: A study of viruses causing yellow mosaics in European and American varieties of the potato, *Solanum tuberosum*. *Phytopathology* **29**, 917—933.
- JOHNSON, J., 1951: Virus particles in various plant species and tissues. *Phytopathology* **43**, 78—93.
- KÖHLER, E., 1953: Der *Solanum-demissum*-Bastard „A 6“ als Testpflanze verschiedener Mosaikviren. *Züchter* **23**, 173—176.
- LOUGHNANE, J. B. and MURPHY, P. A., 1938: Dissemination of potato viruses X and F by leaf contact. *Sci. Proc. Royal Dublin Soc.* **22**, 1—15.
- MARIS, B. und ROZENDAAL, A., 1956: Enkele proeven met stammen van het X-en het aucubabont-virus van de aardappel. *T. Plantenziekt.* **12**, 12—18.
- OSWALD, J. W., ROZENDAAL, A. and VAN DER WANT, J. P. H., 1955: The alfalfa mosaic virus in the Netherlands, its effect on potato and a comparison with the potato aucuba mosaic-virus. *Proc. second Conf. potato virus diseases, Wageningen*, 137—147.
- PAUL, H. L. und BODE, O., 1956: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über Kartoffelviren. IV. Vermessungen an Teilchen des Kartoffel-A-Virus. *Phytopath. Z.* **27**, 211—214.
- WETTER, C. und BRANDES, J., 1955: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über Gestalt und Größe des Kartoffel-S-Virus. *Naturwissenschaften* **42**, 100—101.
- — und — —, 1956: Untersuchungen über das Kartoffel-S-Virus. *Phytopath. Z.* **26**, 81—92.

*Istituto di Patologia Vegetale e di Microbiologia Agraria  
dell'Università di Pisa*

*Direttore: O. Verona*

## **Sul „carbone” del *Polygonum baldschuanicum* Regel**

di

O. VERONA e A. BOZZINI

*Con 4 figure*

Già da qualche tempo l'Autore junior aveva osservato su esemplari di *Polygonum baldschuanicum* Regel, coltivato a scopo ornamentale nei pressi di Verona, attacchi notevoli di una *Ustilaginacea*.

Non avendo trovato descritta, su questa pianta, nessuna specie di carbone, ci è sembrato che l'osservazione meritasse di essere approfondita.

Dobbiamo dire che *Polygonum baldschuanicum* è specie oriunda del Turkestan, ma presente in Italia, da qualche tempo, insieme all'affine *Polygonum Aubertii* Henry., proveniente dalla Cina occidentale. *Polygonum baldschuanicum* è pianta rampicante, di rapido sviluppo, con dense infiorescenze panicolate di color bianco appena sfumato, talvolta, in rosa.

Le piante colpite da carbone assumono un aspetto tipico, dato che i segni dell'infezione si palesano sul fusto, sulle foglie e, finalmente, sulle infiorescenze.



fig. 1. *Polygonum baldschuanicum* attaccato da „carbone”. (Si noti l'affastellamento dei rami e il raccorciamento degli internodi)



L'attacco si manifesta nella parte basale del fusto, generalmente a livello di terra, con formazioni teratologiche caratterizzate da piccole tuberosità da cui prendono origine affastellamenti del tipo „scope di strega“. I rametti componenti tali „scope“ presentano, oltre al diametro notevolmente ridotto, un accentuato raccorciamento degli internodi ed un caratteristico andamento assurgente. Le foglie portate dai fusti ammalati sono più piccole ed irregolarmente arrotondate rispetto alle normali.

Finalmente, le infiorescenze colpite assumono, oltre al tipico aspetto carbonchioso dovuto alla fruttificazione del fungo, caratteristiche morfologiche diverse da quelle normali. Presentano cioè un aspetto rigido e non subvolubile mentre i fiori appaiono meno sparsi a costituire spighe più serrate.

Gli esami microscopici hanno confermato trattarsi di una specie di *Ustilago* e, nonostante non siano poche le specie di *Ustilago* che colpiscono le *Polygonaceae*, ci hanno subito indirizzato verso il gruppo di *Ustilago anomala* Kze. Almeno morfologicamente non abbiamo trovato differenze degne di rilievo nei confronti di questa specie, qualora si eccettui il colore leggermente più chiaro dei clamidoconidi, conforme è risultato attraverso esami comparativi eseguiti su materiale conservato nell'Orto Botanico di Padova (Erbario Micologico Saccardo) e nell'Istituto di Botanica Speciale del Politecnico di Zurigo.

Infatti la nostra specie dà origine a sori localizzati entro i fiori colpiti e rigonfi, dapprima di colore biancosporco, quindi, a maturità, bruno cacao

ed erompenti in una polvere dapprima violacea, poi anch'essa bruno-cacao. I clamidoconidi si presentano globosi, in maggior parte (circa il 77%), di  $\mu$  (7.9) 9.2—11.9 (13.2) od anche ovoidi (circa il 23%) di  $\mu$  (7.9—11.9)  $\times$  (9.2—13.2); presentano infine un episporio distintamente reticolato, a magli esagonali, misuranti diagonalmente  $\mu$  1.8—2.4.



fig. 2. Infiorescenze di *Polygonum balschuanicum* colpite da „carbone“

Come si osserva tali caratteri si sovrappongono abbastanza bene a quelli dati, in diagnosi, per *Ustilago anomala* Kunze.

„Sorìs rufo-brunneis, pulverulentis, sporis rotundatis vel breviter ellipsoideis aut ovoideis, 8—12  $\mu$  diam., episporio tenui, brunnei-rufidulo, distincte reticulato, reticulis exagonalibus, 1.5—3  $\mu$  latis“.

In origine *Ustilago anomala* fu data capace di parassitare *Polygonum convolvulus* e *Polygonum dumetorum*. In seguito, come diremo più avanti, LIRO trovò che *Ustilago anomala* limita il suo attacco a *Polygonum dumetorum*.

Peraltro dovevamo tenere presente che *Polygonum baldschuanicum* è assai vicino, sistematicamente, a *Polygonum Auberti* e che su quest'ultimo, già nel 1933, SIEMASZKO e WROBLEWSKI (1) avevano descritto una *Ustilago*

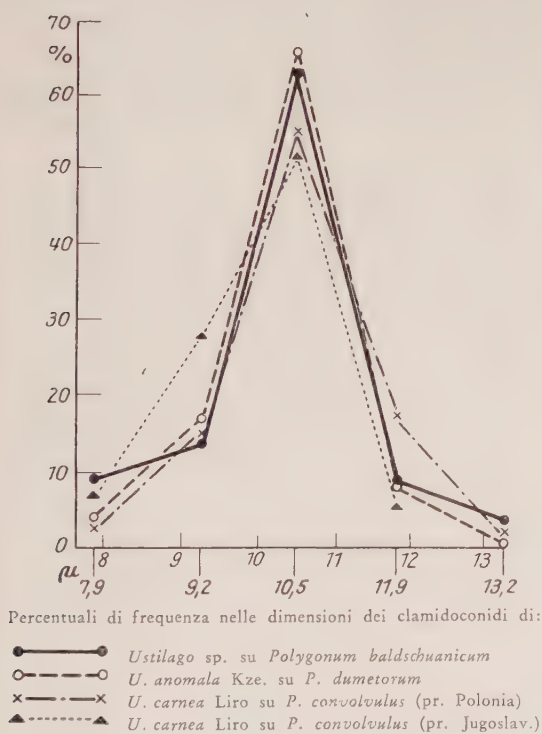
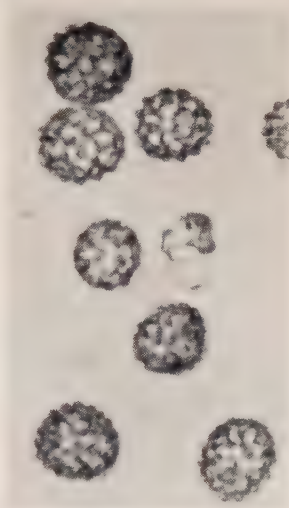


fig. 3.

fig. 4. Clamidoconidi di *Ustilago Raciborskiana* su *Polygonum baldschuanicum*

*Raciborskiana* n. sp. manifestantesi — rilievo importante — con gli stessi caratteristici segni da noi osservati su *Polygonum baldschuanicum*, e da costoro ritenuta assai prossima, forse intermedia tra *Ustilago anomala* Kze ed *Ustilago carnea* Liro.

SIEMASZKO e WROBLEWSKI (1) danno, di *Ustilago Raciborskiana*, la diagnosi seguente: „Fungus ‚scopas sagarum‘ formans, soris in inflorescentiis

enormiter incrassatis et abbreviatio evolutis, floresque excepto perianthio fere onmino destruentibus, pulverulentis, rubro-olivaceis: sporis diluite rubro-olivaceis (obsurioribus quam in *Ustilago anomala* Kze et *Ustilago carnea* Liro), globosis et late ellipsoideis, distincte reticulatis (reticulo planiusculo quam in *Ustilago anomala* et *Ustilago carnea*) 7.5—10  $\mu$  diam. medio-criter 9.2  $\mu$ “.

*Ustilago carnea* Liro fu distaccata dall'Autore (2) nel 1921 da *Ustilago anomala* più che per le caratteristiche morfologiche — qualora si eccettui il colore più chiaro dei clamidoconidi — per il fatto di averla rinvenuta biologicamente fissata su *Polygonum convolvulus* (3); ma tanto è vicina ad *Ustilago anomala* che posteriormente (1947) HIRSCHHORN (4) la riportava di nuovo a questa specie pur tenendola distinta come varietà: *Ustilago anomala* Kze. var. *carnea* (Liro) Hirschhorn.

In effetti una semplice specializzazione matricale non accompagnata da profonde e stabili modificazioni morfologiche può sembrare carattere non sufficiente alla creazione di una nuova specie. E che non esistano profonde modificazioni morfologiche abbiamo avuto modo di controllare anche nei vari esecata al più notandosi, in *Ustilago carnea*, una percentuale maggiore di clamidoconidi sferici sugli ovali.

	Forma dei clamidoconidi (su 200 osserv.) % clamidoconidi		Dimensioni in $\mu$ dei clamidoconidi sferici (frequenza % su 200 misurazioni)				
	sferici	ovali	7.9	9.2	10.6	11.9	13.2
<i>Ustilago Raciborskiana</i> Siem. et Wrobl. su <i>Polygonum baldschuanicum</i>	77,5	22,5	9	15	63	10	3
<i>Ustilago anomala</i> Kze. su <i>Polygonum dumetorum</i>	72,0	28,0	5	18	66	9	2
<i>Ustilago carnea</i> Liro su <i>Polygonum convolvulus</i> (Polonia)	95,0	5,0	3	19	57	19	2
<i>Ustilago carnea</i> Liro su <i>Polygonum convolvulus</i> (Juogoslavia)	96,0	4,0	7	29	55	9	2

Ciò premesso appare dunque fortemente probabile che il carbone rinvenuto su *Polygonum baldschuanicum* sia da riferirsi ad *Ustilago Raciborskiana* descritta su *Polygonum Aubertii*.

A favore di questo modo di pensare sta la vicinanza sistematica degli ospiti; stanno i segni che accompagnano l'infezione carbonchiosa nelle due piante (soprattutto la formazione delle scope di strega); stanno finalmente i caratteri — abito e dimensioni — dei clamidoconidi. Unico carattere distintivo potrebbe essere — cosa che non sappiamo — l'eventuale specializzazione matricale: fatto che non è detto debba necessariamente comportare l'istituzione di una nuova specie.



Solo che, a tal punto, resta da discutersi la validità di *Ustilago Raciborskiana*. Se, conforme il pensiero degli Autori, questa specie presenta caratteri del tutto prossimi ed intermedi tra *Ustilago anomala* ed *Ustilago carnea* e se, come opina Hirschhorn, *Ustilago carnea* è rapportabile ad *Ustilago anomala*, sembra logico pensare che anche *Ustilago Raciborskiana* debba riferirsi a quest'ultima specie od, al più, distinguersi quale sua varietà.

Questo modo di vedere, basato solo sui caratteri morfologici dei clamidoconidi non ci trova però completamente consenzienti. Infatti noi non desideriamo sopravvalutare il carattere della specializzazione matricale; ma questo allorquando trattasi di matrici tra loro morfologicamente, geneticamente e biologicamente affini (per es. *Polygonum convolvulus* e *Polygonum dumetorum*, *Polygonum baldschuanicum* e *Polygonum Aubertii*). Ma quando trattasi di matrici tra loro sistematicamente e — in modo particolare — biologicamente distanti (pur nell'ambito del genere) allora la specializzazione matricale può assumere un valido significato.

Tra *Ustilago anomala* ed *Ustilago Raciborskiana* stanno poi differenze — a parte la quasi identità di aspetto dei clamidoconidi — nel comportamento generale del fungo nella pianta e nei segni che accompagnano la sua infezione.

Riassumendo, il carbone da noi scoperto su *Polygonum baldschuanicum* Regel riteniamo sia assimilabile ad *Ustilago Raciborskiana* Siemaszko et Wroblewski primamente descritta sul vicino *Polygonum Aubertii* Henry.

E' vero che *Ustilago Raciborskiana* è ritenuta assai vicina ad *Ustilago anomala* ed a *Ustilago carnea*, questa a sua volta prossima e fors'anche assimilabile, come varietà, ad *Ustilago anomala*. Con tutto ciò, non conoscendo l'esito che potrebbe conseguire l'esecuzione di infezioni incrociate, riteniamo al momento azzardato riportare *Ustilago Raciborskiana* ad *Ustilago anomala* e pertanto pensiamo di ritenerla specie valida. Tale carbone si manifesta, sulle piante colpite, con raccorciamento notevole degli internodi, con la formazione di scope di strega, con deviazioni morfologiche delle foglie, con la distruzione e trasformazione in massa carbonchiosa delle infiorescenze.

Si pensa nuova la segnalazione di *Ustilago Raciborskiana* Siemaszko et Wroblewski su *Polygonum baldschuanicum* Regel; certamente nuova lo è per l'Italia (5).

Desideriamo ringraziare il Prof. C. CAPPELLETTI per l'invio degli esecati dell'Erbario Micologico di SACCARDO. Per lo stesso motivo e par averci fornito, altresì, interessanti notizie, ringraziamo anche il Signor Prof. E. GÄUMANN della Eidg. Technische Hochschule di Zurigo ed il Signor Dottor E. MÜLLER, Conservatore delle Collezioni botaniche della stessa Eidg. Techn. Hochschule.

### Zusammenfassung

Auf einem in der Nähe von Verona als Zierstrauch angepflanzten Exemplar von *Polygonum baldschuanicum* Regel wurde ein Brandpilz gefunden,

welcher Stengel, Blätter und Blüten befällt. Durch Vergleich mit anderen, *Polygonum* befallende *Ustilago*-Arten konnte dieser Pilz als *Ustilago Raciborskiana* Siem. et Wrobl. identifiziert werden. Der Artwert von *Ustilago Raciborskiana* wird diskutiert und eine ziemlich eingehende Beschreibung des Krankheitsbildes gegeben.

### Bibliografia

1. SIEMASZKO, W., 1933: Quelques observations sur les maladies des plantes en Pologne. Rev. Path. Vég. et Entom. Agr. **20**, 139.
2. LIRO, J. I., 1921: Über die brandige Aptera-Form von *Polygonum dumetorum* L. Ann. Soc. Zoolog. Botanicae Fennicae Vanamo **1**, 24.
3. — —, 1924: Die Ustilagineen Finnlands **1**, Helsinki.
4. HIRSCHHORN, E., 1947: Farlowia **3**, 78 (non consultato direttamente).
5. CIFERRI, R., 1938: Ustilaginales in Flora Italica Crpytogama.

*Aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Resistenzprüfung, Braunschweig*

## **Untersuchungen an den durch *Cercospora beticola* auf Beta-Rüben hervorgerufenen Blattflecken**

Von

A. NOLL

*Mit 2 Abbildungen*

Die durch *Cercospora beticola* an Beta-Rüben verursachten Blattflecke waren schon mehrfach Gegenstand symptomatologischer wie auch anderer Untersuchungen (KÜHN 1858, FRANK 1897, UZEL 1905, CUNNINGHAM 1928, SCHMIDT 1928, WENZEL 1930, STOLZE 1932, WENZL 1955). Durch die nachstehenden Mitteilungen von eigenen Beobachtungen sollen die bisherigen Kenntnisse in verschiedener Hinsicht ergänzt und erweitert werden.

### **1. Zur Symptomatologie**

#### **a) Farbstoffbildung**

Die Blattflecke an Zuckerrüben sind nach SCHMIDT (1928), WENZEL (1930), STOLZE (1932) und anderen Beobachtern rötlich o d e r dunkel (bräunlich-schwärzlich) gerändert. Diese Angaben stimmen mit eigenen Beobachtungen an zahlreichen Sorten, einschließlich Futterrüben, grundsätzlich überein. Zur besseren Veranschaulichung des Befallsbildes sei aber bemerkt, daß — außer bei frischen Infektionsstellen — stets eine dunkle Gewebezone vorhanden ist, nämlich als äußerer Ring (Abb. 1, Zone c) des abgestorbenen eingesunkenen, sonst grau-weißlichen Fleckteiles, und daß die gleiche Zone entweder noch einen turgeszenten rötlichen Saum hat (Zone d—e) oder direkt an das grüne Blattgewebe grenzt. — An die Stelle eines rötlichen kann bei manchen Sorten (s. unten) auch ein gelblicher Saum treten.



Es ließen sich unter Heranziehung von 50 Rübenzüchtungen Beziehungen zwischen der äußeren Färbung des Rübenkörpers und der Färbung der Umgebung des nekrotischen Teiles der Blattflecke finden: Bei Sorten mit **r o t e m** Rübenkörper (Futterrüben) war sie rötlich, seltener normal grün, bei Sorten mit **g e l b e m** Rübenkörper (Futterrüben) fast immer gelblich, sonst grün, also nie rötlich, und schließlich bei Sorten mit **w e i ß e m** Rübenkörper (über-

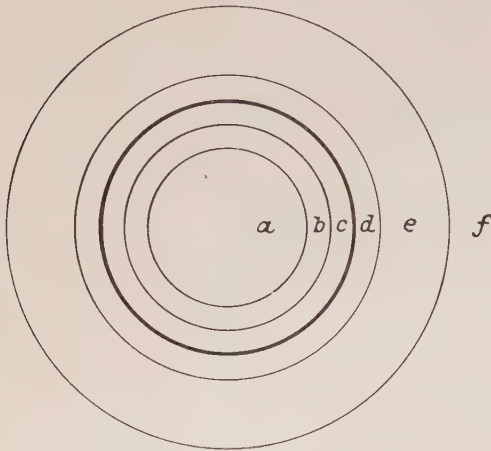


Abb. 1. Schema eines durch *Cercospora beticola* an einem Rübenblatte verursachten Fleckes mit den Zonenbildungen. Erläuterung im Text

wiegend Zuckerrüben) in etwa gleicher Häufigkeit rötlich oder grün, in den übrigen, seltenen Fällen gelblich. Die Farbstoffbildung konnte bei einer Sorte in den genannten Grenzen individuell recht verschieden sein.

Zur Bildung **r o t e r** Fleckenränder erwähnte bereits SCHMIDT (1928), daß die Intensität der Färbung von dem natürlichen Anthocyangehalt der Wirtspflanze abhinge, und daß bei Kreuzungen zwischen der anthocyanreichen *Beta maritima* und der Zuckerrübe der rote Saum bei den Bastarden jeweils stark oder schwach ausgebildet

gewesen sei, je nach Anteil der Wildform. Auf die Farbe des Rübenkörpers ist SCHMIDT jedoch nicht ausdrücklich eingegangen. Indessen weist er darauf hin, daß die Rotfärbung nicht spezifisch für *Cercospora*-Befall ist, sondern auch bei lokaler Blattschädigung durch ganz andere Ursachen auftreten kann.

### b) Transparente Zonen

Die Ränder des abgestorbenen Fleckteiles erwiesen sich mitunter als ölig durchscheinend. Besonders deutlich zeigte sich dies bei einer Sorte mit **g e l b e m** Rübenkörper, deren Gefäßbündel an Blattstiel und -spreite im übrigen ähnliche, bei anderen Sorten nicht in dem Maße beobachtete Eigentümlichkeiten besitzen. Die Ursache dieser Erscheinung wurde nicht näher untersucht, nur wurde festgestellt, daß nach völliger Vertrocknung der Blätter (über einer Flamme) die Transparenz an den Flecken bestehenbleibt, so daß eine wäßrige Gewebeeinfiltration als Ursache auf jeden Fall ausscheidet.

Um eine gleiche oder ähnliche Erscheinung mag es sich bei den Beobachtungen von WENZEL (1930) gehandelt haben, der nach künstlicher Infektion „u. U. ein von dem bisher beschriebenen Befallstypus abweichendes Krankheitsbild“ vorfand, nämlich große abgestorbene, dunkel verfärbte, durch Zusammenfließen zahlreicher, dicht beisammenliegender Einzelflecke entstandene Areale, und zwar mit „hellen“, im durchfallenden Licht hervortretenden Säumen.

## c) Befall bei Panaschierung der Blätter

Im Freien wurden mitunter Rübenblätter gefunden, die außer *Cercospora*-Befall starke Chlorophylldefekte unbekannten Ursprungs in Form von Panaschierungen aufwiesen. An diesem wohl nicht häufigen Fall schien bemerkenswert, daß die vom Pilz erzeugten Blattflecke, bei gleicher Größe, ebenso oft in den chlorophyllfreien weißen wie in den grünen Blattpartien auftreten konnten, wie auch Abbildung 2 deutlich zeigt.

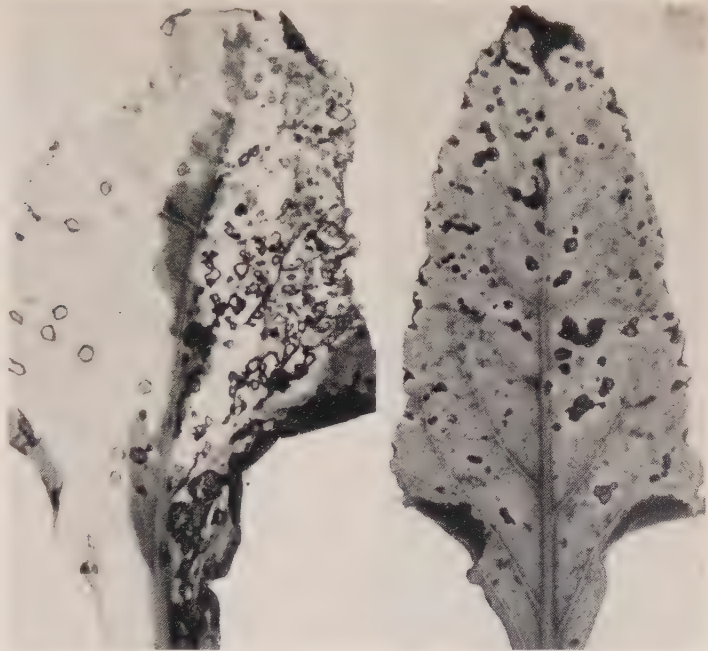


Abb. 2. Links:  
Rübenblatt mit  
Panaschierungen  
und  
*Cercospora*-  
Befall. Die  
Fleckenbildung  
erfolgte unbe-  
einflußt von den  
Chlorophyll-  
defekten.

Rechts: Nicht  
panaschiertes  
befallenes Blatt

## 2. Zytologisches

Im zentralen Bereich des abgestorbenen Teiles (Abb. 1, Zone a) waren die Chloroplasten zusammengeballt, außerdem bei älteren Blattflecken ausgeblieben. In einer sich nach außen anschließenden Zone (b) waren sie zwar ebenfalls zusammengeballt, jedoch selbst an älteren Flecken noch grünlich. An der Peripherie desselben Teiles (c) blieben sie dagegen, soweit erkennbar, voneinander getrennt und erschienen wie die Zellwände dieser Zone bräunlich-schwärzlich verfärbt.

Innerhalb der Begrenzungszone der abgestorbenen Partie (Zone d—e) erwiesen sich die Chloroplasten im Vergleich mit normalem Blattgewebe (f) nicht als vergrößert, vermehrt oder intensiver grün; d. h. eine „Stimulation“ des Wirtsgewebes, wie man sie von gewissen anderen Pilzen gegenüber ihren Wirten annimmt, ließ sich im Wirkungsbereich der *Cercospora* in dieser Form nicht nachweisen. — Untersucht wurden hierbei Freihand-Flächenschnitte von Freilandblättern. Feststellung der Plastidengröße mittels Zeichenapparat.

Nach Wasserinfiltration (Vakuum-Verfahren) lebender Blattstücke wurden bei Flächenaufsicht und durchfallendem Licht in der Zone c der Blattflecke (mitunter noch eine Strecke darüber hinaus, im lebenden Gewebe) an den interzellularen Außenwänden teils massenhaft farblose tropfenförmige Auflagerungen sichtbar. Objekt waren Gewächshauspflanzen mit Flecken ohne besonders verfärbte Ränder.

### 3. Physikalische und chemische Untersuchungen

Bei schneller Vergilbung von abgetrennten Blättern in einer Feuchtkammer, namentlich von Blättern jüngerer Gewächshauspflanzen, blieben häufig grüne Säume von verschiedener Breite um den nekrotischen Teil der Blattflecke zurück. Beim Kochen gleichen Ausgangsmaterials in Alkohol, bis etwa eine Stunde, blieb nun das Chlorophyll im Umkreis derselben Gewebekomplexe gewöhnlich ebenfalls erhalten, während es aus dem übrigen Gewebe schon längst ausgezogen worden war. (Das Chlorophyll sammelte sich hierbei z. T. im Zellsaftraum in Tröpfchen an.)

Die inneren Schichten der Zellwände des an den nekrotischen Fleckteil grenzenden lebenden Gewebes erwiesen sich als verkorkt, in Übereinstimmung mit SCHMIDT (1928), der fand, daß „mehrere Zellschichten um den Fleck jede Zellwand innen eine Korkfolgelamelle aufgelagert hat“. Allerdings wurden solche Verkorkungen von mir nicht an allen daraufhin untersuchten Flecken angetroffen; zudem ließen sich keine Beziehungen zwischen dem Umfange der Nekrosen bzw. der Myzelien und dem Grade der Verkorkung finden. — Der Korknachweis an Mikrotomschnitten erfolgte wie bei SCHMIDT mit Sudan III-Glycerin.

In schwach verdünnter Schwefelsäure wurden die Zellwände des normalen Parenchyms rasch aufgelöst. Die Zellwände einer meist schmalen, direkt an dem abgestorbenen Areal liegenden Zone (d) wurden dagegen nicht sichtbar angegriffen. Allmähliche Auflösung trat in einer im allgemeinen breiteren, nach außen folgenden Zone (e) ein, deren äußere Grenze etwa derjenigen der grünen Flecksäume entsprach, die beim Vergilbenlassen oder bei der Alkoholbehandlung von Blättern erhalten bleiben können (s. oben). Die Zellwände des nekrotischen Teiles waren bei den einzelnen Flecken unterschiedlich löslich. — Die mikroskopischen Untersuchungen erfolgten bei Flächenaufsicht im durchfallenden Licht an herausgeschnittenen Blattstücken, und zwar nach Wasserinfiltration, wodurch die sonst bei der Säureeinwirkung auftretende Luftbläschenbildung, die eine Beobachtung sehr erschwert, vermieden wurde.

Nach Kochen (10 Min.) von Blatteilen in 50%iger Kalilauge (wobei vorhandene Korkstoffe zerstört werden), anschließend in Anilinblau-Eisessig (etwa 1 Min.) und Auswaschen in Wasser<sup>1)</sup> erschienen die Zellwände der säureresistenten lebenden Gewebzone (d) intensiv blau gefärbt, dagegen das übrige Gewebe, im Bereich des Fleckes und außerhalb, völlig farblos. Bei nach-

<sup>1)</sup> Näheres z. Methodik s. NOLL, 1943 a, 1954.



träglicher Einwirkung von schwach verdünnter Schwefelsäure blieb immer nur die Zellstruktur dieser blauen Zone erhalten, deren Farbe lediglich in rotviolett umschlug, wogegen sich alles übrige, nicht angefärbte Gewebe auflöste.

Die blau gefärbte Zone begrenzt scharf den nekrotischen Fleckteil bzw. das Myzel, das sich überdies bei dem Verfahren ebenfalls, nämlich violett anfärbt. Ein Eindringen von Pilzhypen in diesen Bereich konnte ich also nie beobachten. — Auch CUNNINGHAM (1928) vermochte in den auf das abgestorbene eingesunkene Fleckzentrum folgenden Zonen niemals Hyphen aufzufinden.

Bei *Cercospora*-resistenten Rübensorten erschien die sich blau färbende Zone im Verhältnis zur Ausdehnung des Myzels sehr häufig breiter als bei anfälligen Sorten, mitunter auch tiefer gefärbt. Geringe oder keine Färbung des Wirtsgewebes trat dagegen ein 1. bei frischen Infektionen, 2. häufig bei dichten Einzelinfektionen, sofern diese zum Absterben größerer zusammenhängender Blattflächen geführt hatten, 3. vielfach, wenn sich der Pilz nach künstlicher Infektion oder nach spontaner Freilandinfektion auf abgetrennten Blättern in einer Feuchtkammer entwickelt hatte.

#### 4. Hemmzonen für einen zweiten Pilz

In eine Feuchtkammer gelegte Freilandblätter verfärbten sich zuweilen, ohne offensichtlich zu welken, im Verlaufe von etwa acht Tagen bräunlich. Ausgenommen hiervon war jedoch ein um die *Cercospora*-Infektionsstellen befindlicher Hof von ungefähr der Breite der Zonen d—e (Abb. 1). Bei Anwendung der schon erwähnten Färbemethode zeigten sich nun die verbräunten Blatteile dicht und gleichmäßig von bläulich angefärbten Hyphen eines offenbar fremden Pilzes durchwuchert, während der nicht verbräunte Hof hyphenfrei blieb.

Eine Isolierung und Bestimmung des Pilzes, der auf den Rübenblättern nicht sporulierte, der sich aber in der Hyphenform deutlich von *Cercospora beticola* unterschied, wurde noch nicht vorgenommen. Womöglich handelte es sich um einen unter den gegebenen Bedingungen besonders begünstigten Schwächeparasiten, dessen Wachstum aber in einem gewissen Abstand von den *Cercospora*-Myzelien aus bisher unbekannten Gründen zum Stillstand gekommen war.

Verschiedene der obigen Befunde erinnern an Beobachtungen, die ich bei *Puccinia*-Befall von Getreide, und zwar an resistenten Sorten, machen konnte. Dies betrifft den Zustand der Chloroplasten in der Nähe, teils auch im unmittelbaren Bereich des Rostmyzels sowie das Verhalten des Chlorophylls in der Umgebung des Myzels bei Vergilbung und bei Alkoholbehandlung der Blätter. Es betrifft ferner die dicht um das Myzel eintretenden, mit spezifischer Färbbarkeit (Anilinblau) verbundenen chemischen Zellveränderungen und schließlich die tropfenförmigen interzellularen Ausschei-

dungen an den Infektionsstellen<sup>1)</sup>. Bei näherer Untersuchung würden sich vielleicht noch weitere Analogien finden lassen.

<sup>1)</sup> Vgl. insbes. NOLL, 1954, *Puccinia simplex*, zur chem. Analyse NOLL, 1943.

### Literaturverzeichnis

- CUNNINGHAM, H. S., 1928: A study of the histologic changes induced in leaves by certain leaf-spotting fungi. *Phytopathology* 18, 717—751.
- FRANK, A., 1897: Neuere Beobachtungen über die Blattfleckenkrankheit der Rüben (*Cercospora beticola*). *Z. Ver. Zuckerrübenindustr.* 47, 589—597.
- KÜHN, J., 1858: Die Krankheiten der Kulturgewächse, ihre Ursachen und Verhütung. Berlin, G. Bosselmann.
- NOLL, A., 1943: Über den Nachweis von Rostmyzel im Gewebe der Wirtspflanze. *Angew. Bot.* 25, 24—28.
- —, 1943: Über eine durch Gelbrostinfektion in resistenten Getreidesorten und durch andere Ursachen hervorgerufene wundgummiartige Substanz. *Zbl. Bakt., II. Abt.* 105, 448—459.
- —, 1954: Histologische Untersuchungen über den Rostbefall verschieden anfälliger Getreidesorten, mit besonderer Berücksichtigung von *Puccinia simplex* auf Gersten. *Zbl. Bakt., II. Abt.* 108, 717—751.
- SCHMIDT, E. W., 1929: Untersuchungen über die *Cercospora*-Blattfleckenkrankheit der Zuckerrübe. *Zschr. wiss. Biol.* 1, 100—137.
- STOLZE, K. V., 1932: Beitrag zur Biologie, Epidemiologie und Bekämpfung der Blattfleckenkrankheit der Zuckerrübe (*Cercospora beticola*). *Arb. Biol. Reichsanstalt.* 19, 337—402.
- UZEL, H., 1905: Über den auf Zuckerrüben parasitisch lebenden Pilz *Cercospora beticola*. *Zschr. Zuckerindustrie in Böhmen* 29, 501.
- WENZEL, A., 1930: Beiträge zur Kenntnis von Blattfleckenkrankheiten der Zuckerrübe. *Diss. Bonn.*
- WENZEL, H., 1955: Erkennung der Rübenblattfleckenkrankheiten im Lupenbild. *Pflanzenarzt* 7, 59—62.



# Handbuch des gesamten Gemüsebaues

## einschließlich der Küchenkräuter

Von

Dr. h. c. J. BECKER-DILLINGEN

Direktor der Staatlichen Lehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau  
in Weihenstephan

Sechste, neugestaltete Auflage

*770 Seiten mit 253 Abbildungen und zahlreichen Tabellen*  
*Ganzleinen DM 78,—*

Das „Handbuch des gesamten Gemüsebaues“ von J. BECKER-DILLINGEN ist seit über 30 Jahren das umfassendste Standardwerk über Gemüsebau in deutscher Sprache und erfreut sich einer ständig wachsenden Wertschätzung im In- und Ausland. Es behandelt eingehend alle Fragen des Gemüsebaues, seine Wirtschafts- und Marktgrundsätze und seine Technik von der Freiländkultur bis zur Gemüsetreiberei. Sämtliche gebräuchlichen Gemüsearten werden entsprechend ihrer wirtschaftlichen Bedeutung ausführlich behandelt; für den Praktiker besonders wertvoll sind die präzisen, auf jede Gemüseart bezogenen Angaben über Sorten, Saat, Wachstumsbedingungen, Fruchtfolge, Düngung, Krankheiten und Schädlinge, Nahrungswert und Verwertung.

Der Name des Verfassers und seine langjährigen Erfahrungen bieten die Gewähr für eine exakte, wissenschaftliche und gründliche Behandlung des Themas, die den modernsten Entwicklungen auf diesem volkswirtschaftlich so wichtigen Gebiet gerecht wird.

Die vorliegende sechste Auflage ist von Grund auf neu geschaffen und dadurch wieder zu einem ganzen, einheitlichen Guß geworden. Völlig umgearbeitet wurden alle den Pflanzenschutz betreffenden Fragen.

Besonderes Gewicht wurde ferner auf betriebswirtschaftliche Fragen gelegt, vor allem auf die des Arbeitsbedarfs, dann auf die der Verpackung, Sortierung und des Verkaufs.

Durch einen Überblick über Wesen, Art und Umfang des ausländischen Gemüseangebots wird die Stellung des deutschen Gemüsebaues herausgehoben.

Eingehende Ausführungen über Fruchtfolgemöglichkeiten, Unterfruchtba u. a. dienen der bestmöglichen Ausnutzung der Flächen.

Die Darstellung der Pflanzenzucht ist durch Einfügen zahlreicher Anzuchtübersichten mit genauen Saat-, Pikier- und Pflanzungsangaben verbessert worden. Die Bebilderung wurde weitgehend erneuert und ergänzt.

Somit ist diese Neuauflage ein nie versagendes Nachschlagewerk für alle Gemüsebaubetriebe, Fachschulen und behördlichen Dienststellen sowie ein unentbehrliches Hilfsmittel für Praxis, Lehre und Forschung.

VERLAG PAUL PAREY / BERLIN UND HAMBURG



*Soeben erschien der 1. Band:*

# PAREYS LANDWIRTSCHAFTS-LEXIKON

7., völlig neubearbeitete Auflage

Unter Mitwirkung zahlreicher Mitarbeiter und in Gemeinschaft mit

Prof. Dr. E. KLAPP und Prof. Dr. F. HARING

herausgegeben von

Prof. Dr. L. W. RIES, Michelstadt

Zwei Bände mit zusammen mehr als 850 Seiten und über 500 Abbildungen. Jeder Band kostet in Ganzleinen DM 44,—. Der erste Band erschien am 1. Oktober 1956, der zweite Band erscheint am 1. Februar 1957. Teilzahlungspreis um 10 % höher. Preiserhöhung nach abgeschlossenem Erscheinen vorbehalten.

In den 30 Jahren, die seit dem Erscheinen der letzten Auflage des „Illustrierten Landwirtschafts-Lexikons“ vergangen sind, ist so viel Neues auf sämtlichen Gebieten der Landwirtschaft geschehen, daß an Stelle einer Bearbeitung des alten Lexikons jetzt eine völlige Neuschöpfung treten mußte.

In konzentrierten, allgemein verständlichen und auf den letzten Stand bezogenen Erläuterungen zu über 8000 Stichworten stellen Herausgeber und Mitarbeiter das ganze Gebiet der Landwirtschaft im Sinne eines Fachlexikons dar. Sie berücksichtigen dabei einerseits weitgehend die Verhältnisse des gesamten deutschsprachigen Raumes, beschränken sich andererseits aber bewußt auf das Gebiet der eigentlichen Landwirtschaft und auf deren Nebengebiete, soweit sie regelmäßig in die praktische Arbeit des Landwirts hineingehören.

Praxis und Wissenschaft sowie alle, die in Deutschland, Österreich und der Schweiz mit der Landwirtschaft zu tun haben, wie Genossenschaften, Landhandel, Industrie, Banken und Verwaltung, finden im Landwirtschaftslexikon jetzt wieder eine Kurzauskunft über all das, was sie schnell und ohne zeitraubende Inanspruchnahme von umfangreicher Spezialliteratur wissen wollen.

VERLAG PAUL PAREY / HAMBURG UND BERLIN

Verlag: Paul Parey, (1) Berlin SW 68, Lindenstr. 44-47, Tel. 61 44 68/69. Herausgeber: Prof. Dr. E. Gäumann, Zürich 6, Universitätsstr. 2, Prof. Dr. M. Klinkowski, Aschersleben, Ermslebener Str. 52, und Prof. Dr. H. Richter, Berlin-Dahlem, Königin-Luise-Straße 19. Printed in Germany. Druck von A. W. Hayn's Erben, Berlin SO 36. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des auszugsweisen Nachdrucks und der photomechanischen Wiedergabe vorbehalten. — Erscheinungsweise: Jährlich etwa 10–12 Hefte (4 Hefte = 1 Band).